

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
PUUNJALOSTUSTEKNIIKAN OSASTO  
PUUTEKNIIKAN LABORATORIO

KASPERI SOKKA

VANERITUOTTEIDEN MUOTOPYSYVYYTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Puutekniikan laboratorion kirjasto

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin  
tutkintoa varten Espoossa 7.2.2001

Työn valvoja:	Prof. Tero Paajanen
Työn ohjaaja:	DI Susanna Rinne

## TEKNILLINEN KORKEAKOULU

## DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä, työn nimi

Kasper Sokka

Vanerituotteiden muotopysyvyyteen vaikuttavat tekijät

Päivämäärä: 7.2.2001

Sivumäärä: 171 + liitteet

Osasto

Professuuri

Puunjalostustekniikan osasto

Puutekniikka, Puu-28

Työn valvoja

Työn ohjaaja

Professori Tero Paajanen

DI Susanna Rinne

Ristiinviilutettu vaneri on rakenteena varsin muotopysyvä. Vaativissa käyttökohteissa ovat asiakkaat kuitenkin kokeneet ongelmaksi vanerilevyjen käyristymisen ja kieroutumisen. Vanerin käyristymisestä on tehty useita tutkimuksia ja ongelmaan on yritetty löytää ratkaisua prosessiolosuhteita muuttamalla. Yksiselitteisten vastausten löytäminen on vaikeata. On pyrittävä löytämään eri tekijöiden keskinäiset vaikutukset, joiden pohjalta voidaan sitten ohjeistaa toimintaa oikeaan suuntaan.

Työn tavoitteena oli etsiä vanerituotteiden muotopysyvyyteen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimus suoritettiin kirjallisuuden ja aikaisempien tutkimusten tarkasteluna, sekä analysoimalla kohdotehtaan tuotantoprosessia ja varastojärjestelyjä, ja logistiikkaketjua. Tämän perusteella etsittiin suoruuteen eniten vaikuttavat tekijät, jonka jälkeen ne kokeellisesti pyrittiin todentamaan.

Ensimmäisessä tehdaskokeessa käytettiin 2<sup>3</sup> faktorikoematriisia. Kahdeksalla koeajolla tutkittiin kolmen eri muuttujan vaikutusta käyristymiseen. Muuttujia vaihdeltiin kahdella eri tasolla. Muuttujiksi valittiin levyn rakenne, viilujen kosteus(hajonta) ja liimaustapa. Jatkokokeessa puolet levyistä liimattiin 50" ja puolet 60" päämitassa. Neljäsosa molemmista päämitoista (30 kappaletta sekä 50" että 60" mitassa) jätettiin koivupintaisiksi (DIE BB/BB). Yksi neljännes levyistä lähetettiin ensimmäisten mittausten jälkeen lakattavaksi (DIE green). Loput levyistä pinnoitettiin melamiinikalvolla. Puolet näistä pinnoitettiin ennen ensimmäisiä mittauksia (DIE transparent) ja puolet jätettiin tasaantumaan noin kahdeksi viikoksi ennen pinnoitusta (DIE transparent, 2 vkoa).

Viilujen kosteudella on sekä faktorikokeen, että DIE tuoteperheen jatkokokeiden perusteella selvä vaikutus muotoväristymiin. Molemmissa kokeissa viilukerrosten välisen kosteuseron kasvaessa muotoväristymätkin kasvoivat. Liiman syötöllä levitystelalle yhtäaikaaisesti molemmin puolin yhdistettynä kevennettyyn uritukseen on saatu aikaan parannuksia liimalevityksen tasaisuudessa ja ainakin 6,5 ja 9,0 mm:n parkettivanereiden muotopysyvyydessä. Vanerin kosteuden muutoksista selvin vaikutus molemmissa kokeissa oli levyjen kulmien ja keskiosan kosteuden erotuksen muutoksella kierouteen varastoinnin aikana. Mitä suuremmaksi kosteusero kasvoi, sitä enemmän levyt kieroutuivat. Laskennallinen tasapainokosteus varastossa ja tehtaan sisällä seuraavat hyvin selvästi ulkoilmassa tapahtuvia muutoksia.

Tutkimuksessa esitettiin suosituksia ja jatkotutkimuksia niin kosteuden hallintaan, liimanlevityksen kehittämiseen sekä kuljetukseen ja varastointiin kuin vinosyisyyden hallintaan vanerin rakenteen avulla. Puu raaka-aineena on erittäin heterogeenistä ja käyristymiseen ja kieroutumiseen vaikuttavat yleensä useat eri tekijät yhdessä. Ensiarvoisen tärkeää on viilun ja viilujen välisten kosteuserojen minimointi ladonnassa, sekä vanerin kosteuselämisen aiheuttamien muodonmuutosten minimointi logistiikkaketjussa.



Author and title of thesis

Kasper Sokka

## Factors influencing dimensional stability of plywood

Date: February 7, 2001

Number of pages: 171 + appendices

Department

Forest Products Technology

Professorship

Wood Technology, Puu-28

Supervisor

Professor Tero Paajanen

Instructor

M.Sc.(eng.) Susanna Rinne

As a structure, cross-banded plywood is dimensionally relatively stable. In more demanding applications, however, customers are having problems with warping and twisting. Many studies have been done on the warping of plywood, usually trying to find solutions to eliminate warping by influencing different attributes of the manufacturing process. It is difficult to find unambiguous answers to this problem. The best way to solve the problem is to try to find out and understand the mechanisms of interaction between different variables. On the basis of this understanding we can then instruct the manufacturing process as well as customers.

The aim of this thesis was to find factors having an effect on the dimensional stability of plywood products. First, information from previous studies was gathered and analyzed. Then, the manufacturing process of the target factory, including storage conditions and the chain of logistics, was broken down and analyzed. The variables used in the test-runs were selected on the basis on these analyzes.

The first mill site test-run was designed as a  $2^3$  factorial experiment. It had three variables, each at two levels, forming eight possible treatment combinations. The three chosen variables were the inner structure of board, the average (and standard deviation) of the moisture content of veneers and the type of glue spreading. Linear regression was used to analyze the effects of the variables on the warp and twist of the plywood boards. In the second mill site test-run, half of the panels were manufactured in length 50" and half in 60". One quarter of both lengths were left untreated (30 pcs of both 50" and 60", DIE BB/BB). One quarter of the boards were shipped to Lahti mill to be lacquered (DIE green). The rest of the boards were overlaid with melamine impregnated paper. Half of these panels were overlaid before the first measurements (DIE transparent) and the other half was left to even out for two weeks before overlaying (DIE transparent, 2 weeks).

According to the results of mill site test-runs, the moisture content of veneers clearly influences the degree of warping and twisting. The results of experiments show that when the difference in moisture content between veneer layers grows, also warpage increases. By feeding the glue simultaneously from both sides to the roll coater, in combination with reduced groove depth in the middle of the spreading rolls, we could improve the uniformity of spread and dimensional stability of at least 6.5 and 9.0 mm parquet plywood. Experiments also show that a growing difference in moisture content between the middle portion of panels and the corners increases warpage. The calculated equilibrium moisture content of wood inside the factory follows closely the changes in outdoor air temperature and relative humidity.

Recommendations for action and suggestions for further studies were given for the following areas: moisture control, the spreading of glue, transportation and storage, the use of structural solutions to control the influence of veneer grain angle deviation on the flatness of the boards. Wood as raw material is very heterogeneous and warpage is usually caused by several factors acting together. The aim must be to control the distribution of shape deformations to keep them at a defined range. The most important factors in achieving this are minimizing differences in moisture in and between veneers at the assembly stage and minimizing deformations of plywood panels within the chain of logistics.

TKK Puutekniikka

Kasper Sokka

**ALKULAUSE**

Tämä diplomityö on tehty Schauman Wood Oy:n Joensuun tehtaalla. Diplomityön valvojana toimi professori Tero Paajanen ja ohjaajana diplomi-insinööri Susanna Rinne. Suurkiitokset kaikille työn tekoon eri tavoin osallistuneille henkilöille.

Joensuussa keskiviikkona, 7. helmikuuta 2001

Kasper Sokka



<b>1. JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
1.1. TUTKIMUKSEN RAKENNE.....	2
1.2. STANSSIVANERIEEN OMINAISUUKSIA.....	2
1.2.1. <i>Stanssivanerien valmistus</i> .....	4
1.3. LUKUOHJEITA .....	4
<b>2. RAAKA-AINE JA TUOTANTOPROSESSI.....</b>	<b>6</b>
2.1. RAAKA-AINEEN OMINAISUUDET .....	6
2.1.1. <i>Vinosyisyys</i> .....	8
2.2. RAAKA-AINEEN OMINAISUUDET JA KOSTEUS PROSESSIN KANNALTA .....	9
2.3. PUUN KUIVUMINEN .....	11
2.3.1. <i>Kapillaari- ja diffusiovirtaus</i> .....	11
2.3.2. <i>Veden siirtyminen puusta ilmaan</i> .....	11
2.4. VIILUN KUIVAUSPROSESSI.....	12
2.4.1. <i>Kuivauslämpötilan vaikutus viilun ominaisuuksiin</i> .....	13
2.5. VIILUN KOSTEUDEN HALLINTA KUIVAUKSESSA.....	16
2.5.1. <i>Nykyiset viilunkuivaajat</i> .....	16
2.5.2. <i>Uudentyyppinen viilunkuivaaja</i> .....	17
2.6. VIILUN KOSTEUS VARASTOINNIN AIKANA .....	20
2.7. VIILUN KOSTEUS LIIMAUKSESSA .....	22
2.8. VANERIN LIIMAUS .....	26
2.8.1. <i>Urea-formaldehydiliima</i> .....	26
2.8.2. <i>Eri tekijöiden vaikutus liimauksessa (FF-harts)</i> .....	28
2.9. VIILUN KOSTEUS JA LAATU LOPPUTUOTTEEN KANNALTA .....	31
<b>3. RAAKA-AINEEN JA PROSESSITEKIJÖIDEN VAIKUTUS KÄYRISTYMISEEN JA KIEROUTUMISEEN .....</b>	<b>34</b>
3.1. KÄYRISTYMIEN MÄÄRITELMÄ.....	34
3.2. VANERIN KOSTEUS .....	34
3.3. VANERIN KOSTEUDEN VAIKUTUS KÄYRISTYMISEEN.....	39
3.4. PUUVIILULEVYJEN KÄYRISTYMINEN.....	41
3.4.1. <i>Muodonmuutokset tason suuntaan</i> .....	43
3.4.2. <i>Levyjen paksuusturpoama</i> .....	45
<b>4. VANERIN KÄYRISTYMINEN –PROJEKTI.....</b>	<b>46</b>
4.1. KOEVANEREIDEN KOSTEUS KOKOJEN ERI VAIHEISSA .....	46
4.1.1. <i>Kosteus ennen kuumentamista</i> .....	46
4.1.2. <i>Valmiin vanerin kosteus</i> .....	46
4.2. KIMMOKERTOIMIEN, VINOSYISYYDEN, KOSTEUSMUODONMUUTOSKERTOIMIEN JA VIILUN PAKSUUDEN VAIHTELUN VAIKUTUS KÄYRISTYMISEEN.....	47
4.2.1. <i>Laskennalliset tarkastelut</i> .....	47
4.3. KOELEVYJEN MUODONMUUTOKSET LEVYJEN SEKÄ VIILUJEN KOSTEUDEN JA VINOSYISYYDEN VAIHDELLESSA .....	51
4.4. VIILUJEN VINOSYISYYS.....	53
4.4.1. <i>Vinosyisyyden vaihtelu</i> .....	53
4.5. YHTEENVETO .....	55
<b>5. SUORITETUT TUTKIMUKSET, NIIDEN TULOKSET JA TILASTOLLISET ANALYYSIT .....</b>	<b>57</b>
5.1. ESITUTKIMUKSET .....	57
5.1.1. <i>Vinosyisyys</i> .....	57
5.1.2. <i>Viilun kosteus kuivaajien jälkeen ja ladonnassa</i> .....	61
5.1.3. <i>Liimanlevityksen vaihtelu ulkoisten olosuhteiden mukaan</i> .....	64
5.1.4. <i>Ureaformaldehydiliimattujen stanssilevyjen tuotanto ja reklamaatiot</i> .....	68



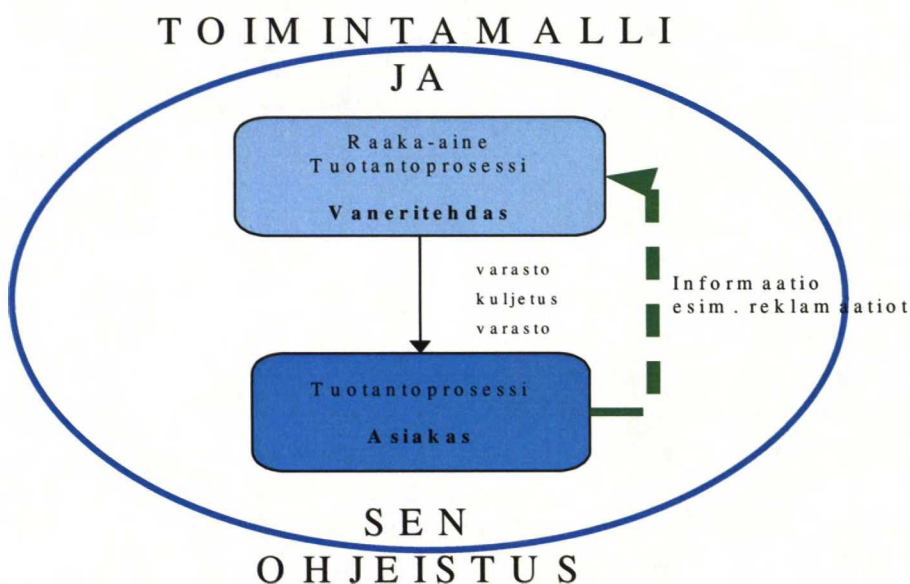
5.1.5.	<i>Ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan muutokset tehtaalla ja määräsatamissa.</i>	71
5.2.	AIKAISEMPIEN AIHEESEEN LIITTYVIEN TUTKIMUSTEN KOETULOSTEN UUELLEENANALYSOINTI	74
5.2.1.	<i>Parkettivanerien käyritysmiskokeita</i>	74
5.2.2.	<i>Viilun kosteuden vaikutus vanerin käyritymiseen</i>	76
5.2.3.	<i>Viilun kosteuden ja vinosyisyyden vaikutus vanerin käyritymiseen</i>	81
5.3.	TEHDASKOKEIDEN AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT	84
5.4.	VIILUN KOSTEUDEN, LIIMANLEVITYKSEN JA LEVYN RAKENTEEN SEKÄ KOSTEUDEN VAIKUTUS KÄYRITYMISEEN	90
5.4.1.	<i>Viilun kosteus kuivaajan jälkeen ja ladonnassa</i>	90
5.4.2.	<i>Viilujen kosteuden vaikutus käyritymiseen</i>	92
5.4.3.	<i>Liimanlevitys</i>	94
5.4.4.	<i>Levyjen kosteus ja kosteuden muutos</i>	95
5.4.5.	<i>Levyjen kosteuden muutoksen vaikutus käyritymiseen</i>	96
5.4.6.	<i>Ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja puun laskennallinen tasapainokosteus tehtaalla</i>	97
5.4.7.	<i>Levyjen käyryys ja kierous</i>	99
5.5.	PÖLLIMITAN JA PINNOITUKSEN SEKÄ VIILUN KOSTEUDEN JA LEVYN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUS KÄYRITYMISEEN	107
5.5.1.	<i>Viilun kosteus liimauksessa</i>	108
5.5.2.	<i>Viilujen kosteuden vaikutus käyritymiseen</i>	108
5.5.3.	<i>Liimanlevitys</i>	110
5.5.4.	<i>Levyjen kosteus</i>	111
5.5.5.	<i>Levyjen kosteuden muutos varastoinnissa</i>	118
5.5.6.	<i>Levyjen kosteuden muutoksen vaikutus käyritymiseen</i>	120
5.5.7.	<i>Ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja puun laskennallinen tasapainokosteus tehtaalla</i>	123
5.5.8.	<i>Levyjen käyryys ja kierous</i>	126
5.5.9.	<i>Tiheyden, keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuden ja taivutuskimmomoduulin vaikutus käyritymiseen</i>	131
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET SEKÄ SUOSITUKSIA JA JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSIA	141
6.1.	VIILUJEN JA VANERIN KOSTEUS JA NIIDEN VAIKUTUS MUOTOVÄÄRISTYMIIN	141
6.1.1.	<i>Viilujen kosteus</i>	141
6.1.2.	<i>Vanerin kosteus</i>	141
6.2.	LIIMAUS	142
6.3.	VANERIN RAKENNE, OMINAISUUDET JA VIILUJEN VINOSYISYYS	146
6.4.	VARASTOINTI JA KULJETUS	155
6.5.	VANERITUOTTEIDEN MUOTOPYSYVYYTEEN VAIKUTTAVAVIEN TEKIJÖIDEN HALLINTA	156
6.6.	YHTEENVETO	160
7.	YHTEENVETO	162
7.1.	JOHDANTO	162
7.2.	KIRJALLISUUSOSA	162
7.3.	KOKEELLINEN OSA	164
	LÄHDELUETTELO	168
	LIITTEET	

## 1. JOHDANTO

Ristiinviilutettu vaneri on rakenteena varsin muotopysyvä. Vaativissa käyttökohteissa ovat asiakkaat kuitenkin kokeneet ongelmaksi vanerilevyjen käyristymisen ja kieroutumisen omassa valmistusprosessissaan. Levyjen käyristymisestä on SW:lle tehty aikaisemmin useita diplomitöitä. Samaa ongelmaa käsittelee yhteistyöprojektina VTT Rakennustekniikan ja TKK Talonrakennustekniikan kesken tehty 'Vanerin käyristyminen' -projektin loppuraportti sekä useat muut viime aikoina julkaistut tutkimukset.

Vanerin käyristymisestä on siten tehty useita tutkimuksia ja ongelmaan on yritetty löytää ratkaisua prosessiolosuhteita muuttamalla. Yksiselitteisten vastausten löytäminen on kuitenkin vaikeata.

Työn tavoitteena oli etsiä vanerituotteiden muotopysyvyyteen vaikuttavia tekijöitä. Tämä tehtiin kartoittamalla UF -liimattujen stanssivaneriasiakkaiden ongelmia, jotka liittyvät levyjen käyristymiseen ja kieroutumiseen. Työssä pyrittiin kehittämään toimintamalli niin vanerin valmistusprosessiin, kuin varastointiin ja koko toimitusketjuun levyjen suoruuden varmistamiseksi.



Kuva 1 Tutkimuksen rakenne.

Tutkimus suoritettiin kirjallisuuden ja aikaisempien tutkimusten tarkasteluna, sekä analysoimalla kohdetehtaan tuotantoprosessia ja varastojärjestelyjä, ja koko logistiikkaketjua. Tämän perusteella etsittiin suoruuteen eniten vaikuttavat tekijät, jonka jälkeen ne kokeiden avulla pyrittiin todentamaan.



### 1.1. TUTKIMUKSEN RAKENNE

Muotopysyvyyden hallinta on erityisen tärkeätä vaativissa vanerituotteissa, kuten stanssivanerit ja parkettivanerit. Käyristyminen ja kieroutuminen aiheuttavat ongelmia asiakkaiden tuotantoprosessissa, seuraavan vaiheen teollisille loppukäyttäjille ja jopa asennusvaiheessa (parkettivanerit). Tämä tutkimus käsittelee erityisesti urea-formaldehydiliimattujen stanssivanereiden tuotantoprosessia ja toimitusketjua tehtaalta asiakkaalle.

### 1.2. STANSSIVANERIEEN OMINAISUUKSIA

Stanssimuottia valmistettaessa siihen laserleikataan läpimenevät urat pakkausaihion ääriviivojen mukaan, myös taitto- ja mahdolliset revintälinjat uritetaan. Tietyin välimatkoin leikattuun uraan jätetään ehjiä kohtia, jotta levy pysyy koossa. Seuraavassa työvaiheessa urat teritetään. Stanssauksessa isketään liikkuva pahvimatto stanssikehilöä eli stanssimuottia vasten. Tällöin muotin leikkaus- ja nuuttauslinjat painuvat puristuslevyn pintaa vasten. Stanssausvaiheessa pakkausaihio saa siis ääriviivansa.<sup>1</sup>

Vääntyneen ja käyristyneen levyn leikkaus laserilla on hyvin vaikeaa, koska leikkaavan säteen etäisyys pinnasta on tarkoin laskettu ja määrää mm. leikkausraon suuruuden. Toisaalta pakkausteollisuuden koneet ovat hyvin tarkkoja stanssiformun mittojen suhteen eivätkä toimi oikein muotovääristyneellä muotilla.<sup>2</sup>

- ◆ Stanssilevyjen markkinat
  - noin 20 000 m<sup>3</sup> Euroopassa
  - noin 15 000 m<sup>3</sup> USA:ssa
- ◆ Markkinanäkymiä
  - Asiakkaiden määrä pienenee ja koko kasvaa
  - Kilpailu toimittajien välillä kovenee entisestään.
  - Katteet tulevat pienenevään kovenevan hintakilpailun takia.

**WISA-DIE** koivuvaneri tuoteperheeseen kuuluvat

- WISA-DIE S/BB, BB/BB, koivupintaist
- WISA-DIE Green, S/BB, BB/BB, lakatut
- WISA-DIE Transparent, BB/BB, melamiinipinnoitetut

---

<sup>1</sup> Mikkola, s.41-42

<sup>2</sup> Heinonen, Tuija s.9





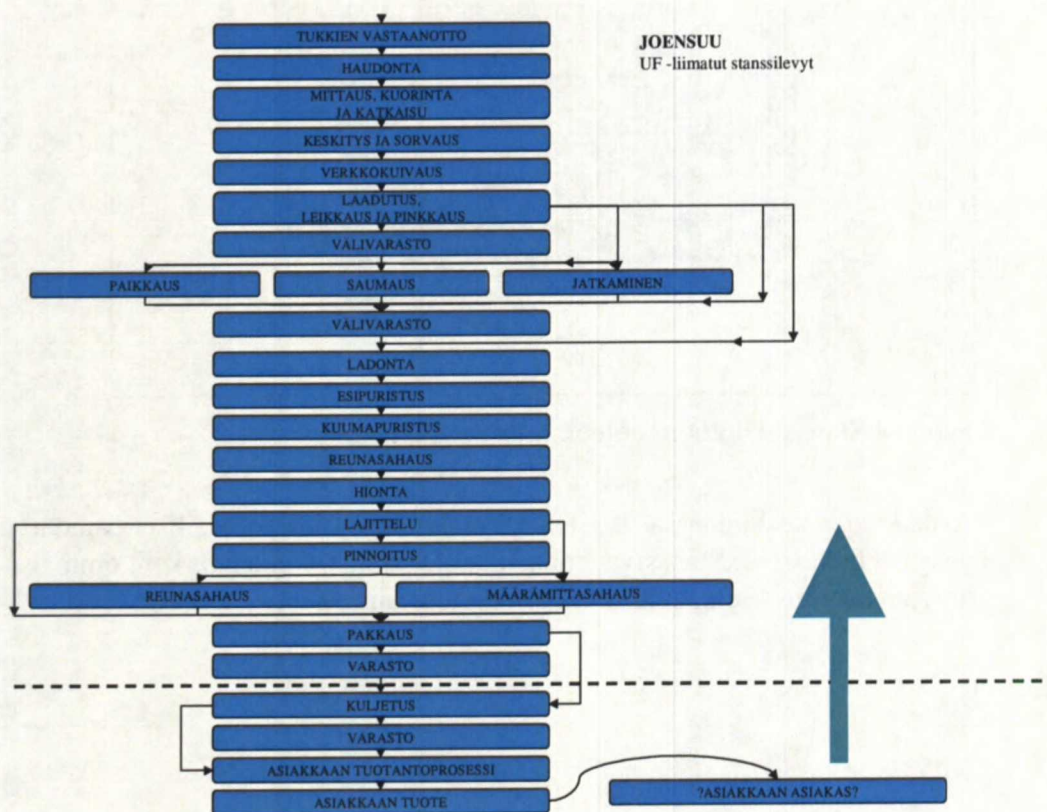
Kuva 2 Stanssimuottien tuoteominaisuuksien painoarvot.<sup>3</sup>

Asiakkaiden keskuudessa suoritettun kyselyn tuloksien suhteelliset painoarvot näkyvät kuvassa 2. Stanssivaneriasiakkaille painoarvoltaan tärkein ominaisuus on levyjen suoruuus. Seuraavaksi tärkein ominaisuus on levyjen hinta.

---

<sup>3</sup> Mikkola s.49, kuva 10

## 1.2.1. Stanssivanerien valmistus



Kuva 3 Urea-formaldehydi –liimattujen stanssilevyjen tuotantoprosessi Joensuun tehtaalla.

Kuvassa 3 on esitetty Schauman Woodin Joensuun tehtaalla stanssivanereiden tuotantoprosessi. Tutkimuksessa prosessi hajoitettiin työn alkuvaiheeseen ja eri osien kohdalla analysoitiin mahdollisesti käyristymiseen ja kieroutumiseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi apuna käytettiin kalanruotokaaviota sekä useita mind-map –karttoituksia. Prosessi osiinsa hajoitettuna, mind-map -kartta ja kalanruotokaavio on esitetty liitteessä 1 sivuilla 1-4.

## 1.3. LUKUOHJEITA

Tässä työssä on luvussa 2 käsitelty raaka-ainetta ja tuotantoprosessia. Raaka-aineen eri ominaisuuksista on etsitty muotovääristymiin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä. Prosessista on käsitelty niitä alueita, joiden on arveltu vaikuttavan käyristymiseen ja kieroutumiseen eniten. Prosessista on käsitelty kuivausta ja liimausta ja näiden vaikutusta viulun kosteuteen.

Kolmannessa luvussa on esitetty aikaisempien tutkimusten tuloksia vanerin kosteudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä, sekä muita puun muodonmuutoksiin vaikuttavia tekijöitä.

Kasper Sokka

Neljäs luku on kokonaisuudessaan käytetty viimeisimmän aiheeseen liittyvän työn 'Vanerin käyristyminen' –projektin loppuraportin tuloksien esittelemiseen.

Tutkimuksen kokeellinen on jaettu esitutkimuksiin, aikaisempiin aiheeseen liittyviin tutkimuksiin ja varsinaisiin tehdaskokeisiin, joita olivat faktorikoe ja jatkokoe. Siinä on siis esitelty lyhyesti myös Tero Hannosen ja Ilkka Tarvaisen diplomitöitä sekä Vanerin käyristyminen –loppuraporttia. Näiden kolmen työn kokeiden tuloksia on edelleen tarkasteltu soveltuvien osien varsinaisten tehdaskokeiden ohella.



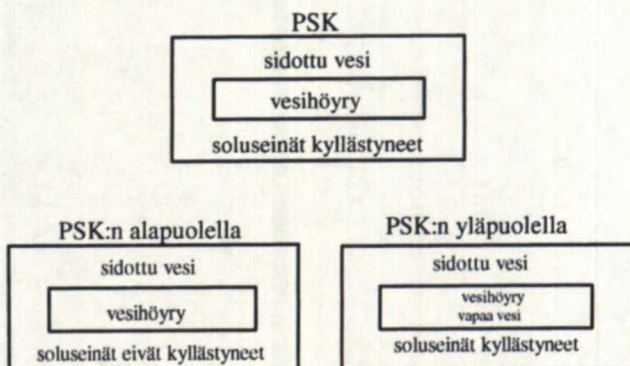
## 2. RAAKA-AINE JA TUOTANTOPROSESSI

### 2.1. RAAKA-AINEEN OMINAISUUDET

Puu on hygroskooppista eli se imee kosteutta ympäröivästä ilmasta sekä luovuttaa sitä ympäröivään ilmaan. Se kosteutta, johon puu pyrkii, riippuu ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta.

Solut koostuvat pääasiassa selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Tärkein ainesosa on selluloosa, jota syntyy, kun glykoosimolekyylistä poistuu yksi vesimolekyyli ja nämä glykoosimolekyylijätteet yhtyvät pitkäksi ketjuksi. Suurin osa soluista on puun rungon suuntaisia. Nämä huolehtivat ravintoaineiden kuljetuksesta juurista lehtiin. Poikittaiset ydinsäteet johtavat nesteiden liikkeitä puun pinnan nilakerroksesta muihin soluihin. Solut kasvavat voimakkaimmin keväällä ja hitaammin kesällä ja syksyllä. Talvella solut ovat lepotilassa. Puun poikkileikkauksessa tämä ilmenee vuosirenkaiden muodostumisena. Puussa on siten kolme pääsuuntaa: puunsyiden suunta sekä vuosirenkaiden tangentin ja radiaalisen suunta.

Tuoreessa puussa vesi esiintyy vapaana soluonteloissa ja muissa vapaissa tiloissa (vapaa vesi) sekä sitoutuneena kemiallisesti solujen seinämiin. Solurakenteeseen sitoutuneen veden poistuminen aiheuttaa puun kutistumisen. Puun syiden kyllästymispiste on kotimaisilla puulajeilla noin 30 % (sitottu vesi, puun syiden kyllästymispiste PSK).



Kuva 4 Puun syiden kyllästymispiste ja veden sitoutuminen soluonteloissa ja soluseinämissä.<sup>4</sup>

Bhatin tutkimuksessa tarkasteltiin kuinka raudus- ja hieskoivun puuaineen kuiva-tuoretiheyskutistumat riippuvat puun anatomisista ominaisuuksista. Aineistona oli käytetty kahta kummankin puulajin runkoa, jotka oli kaadettu Ruotsinkylästä. Runkojen ikä oli 45-56 vuotta. Näytepalat oli kerätty kolmelta korkeudelta neljän metrin välein lähtien kahden metrin korkeudelta maanpinnasta.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Hannonen s.8, kuva 2

<sup>5</sup> Bhat, s.396

Koivun tiheys korreloi positiivisesti kuidun pituuden, soluontelon seinämän paksuuden sekä ytimeistä (joko vuosina tai millimetreinä) mitatun etäisyyden kanssa. Sitä vastoin tiheys korreloi negatiivisesti näytteenottokorkeuden ja vuosiluston paksuuden kanssa. Valikoivaa regressioanalyysiä käytettäessä merkitseviksi tekijöiksi oli saatu rauduskoivulla ytimeistä mitattu ikä sekä näytteenottokorkeus. Ne selittivät noin 80 % kuiva-tuoretiheyden vaihtelusta. Hieskoivulla merkitseviksi tekijöiksi oli saatu kaksinkertainen soluseinämän paksuus sekä vuosiluston paksuus, jotka yhdessä selittivät tiheyden vaihtelusta 28 %. Rauduskoivulla kutistuminen ei korreloinut merkittävästi minkään tutkitun anatomisen ominaisuuden kanssa. Hieskoivulla tilavuusmääräinen sekä säteen että tangentin suuntainen kutistuminen aluksi lisääntyivät tyvestä latvaan ja sitten uudelleen alenivat. Näytteenottokorkeuden vaikutus oli suurempi säteen suuntaiseen kutistumiseen kuin tangentiaaliseen kutistumiseen. Tilavuusmääräisestä kutistumisesta selittivät hieskoivulla 55 % kuiva-tuoretiheys sekä kosteussuhde.<sup>6</sup>

Tutkimuksessa havaittiin, että kuidun tunnuksista pituus, paksuus ja soluseinämän kaksinkertainen paksuus korreloivat voimakkaasti keskenään. Pituus, paksuus ja seinämän paksuus lisääntyivät selvästi ytimeistä pintaan päin. Etäisyyden vaikutukseen verrattuna vuosiluston vahvuudella oli vähäinen merkitys. Kuitujen pituuden lisääntyessä kasvoi myös putkisolujen pituus selvästi.<sup>7</sup>

Erityisesti rauduskoivulla tiheys kasvaa siirryttäessä ytimeistä pintaan päin. Kasvu voi olla jopa  $200 \text{ kg/m}^3$ . Raudus- ja hieskoivun poikittaiset turpoamat kasvavat siirryttäessä ytimeistä kuoreen päin. Vetopuu aiheuttaa myös paikallista vaihtelua koivun ominaisuuksiin. Koivun materiaaliominaisuuksien vaihtelusta on kirjallisuudessa huomattavasti vähemmän tietoa kuin havupuiden osalta.<sup>8</sup>

Hieskoivun osuus vaneriteollisuuden koivuraaka-aineesta vaihtelee huomattavasti tehtaittain. Mikäli koivulajien käyttöosuudet noudattelevat niiden osuuksia koivutukkivarannoista, hieskoivun osuus on pohjoisilla tehtailla (Suolahti, Kuopio, Joensuu) niiden hankinta-alueiden sijainnin mukaisesti jopa 40-50 %. Kaakkoisilla tehtailla (Heinola, Valkeala, Lappeenranta, Punkasalmi, Ristiina, Savonlinna) 20-30 %. Tosiasiassa hieskoivun osuudet ovat todennäköisesti näitä lukuja pienemmät.<sup>9</sup>

---

<sup>6</sup> Bhat, s.396

<sup>7</sup> Bhat, s.396

<sup>8</sup> Bhat, s.396

<sup>9</sup> Verkasalo, s. 20



Kasper Sokka

## 2.1.1. Vinosyisyys

Puun solukkojen pääasiallinen suunta ei yleensä noudata rungon pituusakselin suuntaa, vaan solukot ovat järjestäytyneet spiraalin muotoon ytimen ympärille. Tarkasteltaessa puuta tyvestä latvaan päin erotetaan vasen- ja oikeakierteisyys spiraalin suunnan mukaan.<sup>10</sup>

Tarkasteltaessa yksittäisen puun kierteisyyttä se muuttuu, kun etäisyys ytimestä kasvaa. Hartigin (Viitaniemi, 1988) mukaan männyllä on tyypillistä vasenkierteisyyden vaihtuminen 40-80 vuoden iässä suorasyisyydeksi ja edelleen oikeakierteisyydeksi 80-120 vuoden iässä.<sup>11</sup>

Kierteisyys on hyödyllistä puulle, jos vallitseva ulkoinen vääntömomentti ja vinosyisyys ovat samansuuntaisia. Tämä toteutuu alueilla, joilla tuulee pääosin samasta suunnasta ja puu on epäsymmetrinen tähän suuntaan nähden.<sup>12</sup>

Kierteisyyden fysiologisia syitä ei tunneta. On esitetty erilaisia teorioita, jotka liittyvät normaaleihin luonnonilmiöihin, kuten maapallon pyörimisliikkeeseen ja auringon kulkuun. Kehitysoptillisesti piirteen säilymistä aiheuttaa se, että kierteinen kasvu vahvistaa kasvavan rungon lujuutta. Näin ollen valinta suosii kierteisyyden säilymistä.<sup>13</sup>

Puun pinnalta havaittava kierteisyys ei ole vakio koko rungossa, vaan muuttuu puun kambiaalisen iän kasvaessa. Tästä ovat seurauksena syykulman vaihtelut siirryttäessä ytimestä pintaan tai tyvestä latvaan. Ilmiö johtuu jälsikerroksessa jakaantuvien solujen asettumisesta vinosti limittäin puun pinnalle, jolloin vinousasteen suuruuden määrää sen hetkinen kasvutilanne.<sup>14</sup>

---

<sup>10</sup> Viitaniemi, s. 7-8

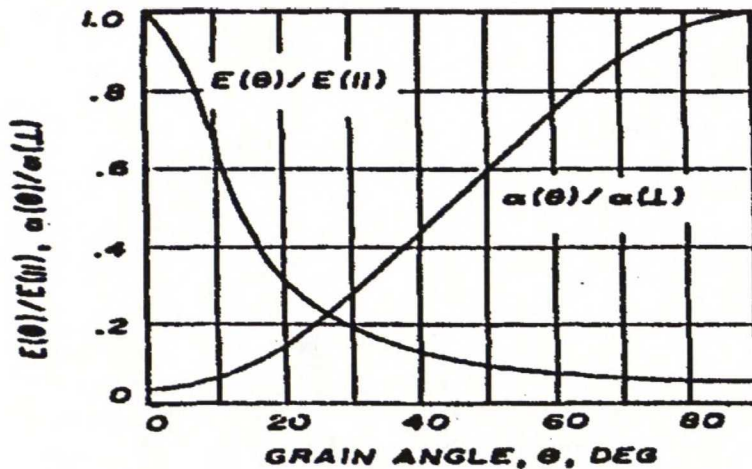
<sup>11</sup> Koponen, S., s.57-63, Viitaniemi, s.9

<sup>12</sup> Skatter, s. 212

<sup>13</sup> Viitaniemi, s. 7-8

<sup>14</sup> Viitaniemi, s. 26





Kuva 5 Vinosisyyden  $\theta$  vaikutus kosteusmuodonmuutokseen ja kimmokertoimeen.<sup>15</sup>

Suhteellisen pieni  $15^\circ$  vinouma syyn pituussuunnasta aiheuttaa kimmokertoimien puolittumisen ja kolminkertaistaa hygroskooppisen laajenemisen. Vastaava muutos syyn poikkisuunnassa aiheuttaa minimaalisia muutoksia näihin ominaisuuksiin. Kimmokerroin pysyy käytännössä muuttumattomana ja hygroskooppinen laajeneminen vähenee vajaalla 10 %:lla.<sup>16</sup>

Hygroskoppinen käyristyminen puukerroslevyissä on yleinen ja useasti väistämätön tapahtuma. Pääsyy siihen on luonnollinen vaihtelu eri kerrosten ominaisuuksissa. Vinosisyys on tärkein vaikuttava tekijä levyjen käyristymiseen pintaviilun syysuunnassa.<sup>17</sup>

## 2.2. RAAKA-AINEEN OMINAISUUDET JA KOSTEUS PROSESSIN KANNALTA

Puun alkukosteus on eräs tärkeä tekijä viilun kuivauksessa. Puun kosteus riippuu kasvupaikasta ja muista olosuhdetekijöistä. Vuodenajanvaihtelut vaikuttavat myös kosteuteen ja esim. koivulla kosteus on suurimmillaan keväällä ja pienimmillään kesällä.<sup>18</sup>

Koivu ja kuusi eroavat toisistaan huomattavasti kosteuden suhteen. Koivun sisäinen kosteus lisääntyy siirryttäessä tyvestä latvaan päin ja alenee mentäessä ytimestä pintaan päin. Kosteus vaihtelee välillä 60-80 %. Kuusella sisäiset kosteusvaihtelut voivat olla hyvinkin suuria sydän- ja pintapuun kosteuksien

<sup>15</sup> Suchsland, s.117, kuva 5

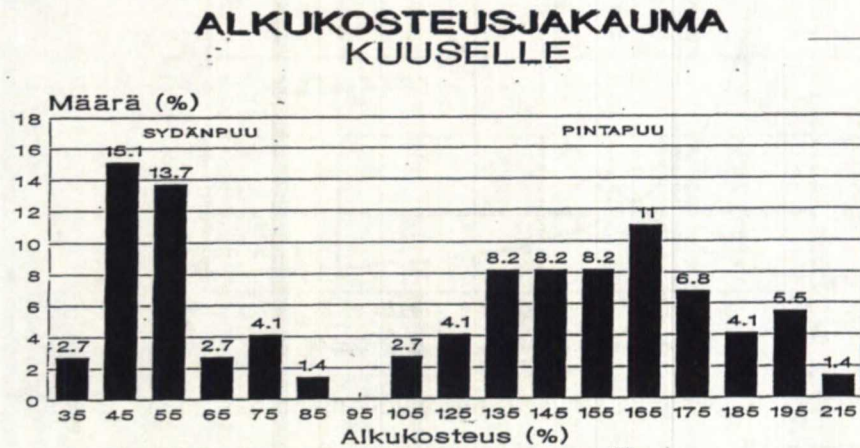
<sup>16</sup> Suchsland, s. 111-113, 117

<sup>17</sup> Suchsland, s. 111-113, 117

<sup>18</sup> Kärkkäinen s.131-133

Kasper Sokka

vaihdellessa aina 30-200 %:n välillä. Myös eri puurunkojen väliset vaihtelut ovat kuusella koivua suuremmat.<sup>19</sup>



Kuva 6 Eräs alkukosteusjakauma kuusiviilulle.<sup>20</sup>

Havupuilla sydänpuun rengashuokokset ovat pysyvästi sulkeutuneet. Lisäksi muodostavat pintapuun elävät solut kuollessaan ja muuttuessaan sydänpuuksi pihkaa ym. hartsivahamaisia aineita, jotka tukkivat soluontelot ja huokokset. Kun myös pihkatiehyet täyttyvät epiteelisoluilla, pienenee sydänpuun vedenjohtokyky voimakkaasti. Männyllä tämä on voimakkaampaa kuin kuusella ja männyn säteensuuntainen vedenvirtaus on noin 1000 kertaa suurempi pintapuussa kuin sydänpuussa. Koivulla ei ole varsinaista sydänpuumuodostusta, eikä vedenjohtokyvyssä eroa sydän- ja pintapuun välillä.<sup>21</sup>

Puun varastoinnissa kuusen ja koivun erot tulevat selvästi esille. Pidempiä aikoja vesivarastoinnissa ollut koivu eli ns. uppopuu on täysin vettynyt, eikä nimensä mukaisesti enää kellu. Pitkään vedessä varastoiduista koivutukeista ei myöskään saada parempia pintalaatuja värivikojen takia.<sup>22</sup>

Haudonnasssa ongelmaksi saattaa muodostua liian lyhyt haudonta-aika, (n. 35°C:ssa alle 24 h) jolloin erityisesti järeät kuusitukit eivät ehdi lämmitä ja kostua riittävästi. Ongelma on myös nippujen kelluminen, jolloin osa tukeista jää pinnan ylle, jollei käytössä ole paininlaitteita. Yleisesti käytetty veden suihkuttaminen nippujen päälle ei varsinkaan pakkasilla ole riittävä keino haluttaessa saavuttaa tasainen haudontatullos.<sup>23</sup>

<sup>19</sup> Kärkkäinen s.124-129

<sup>20</sup> Fredrikson, Liite 1

<sup>21</sup> Lemettinen s.4-5

<sup>22</sup> Sokka s. 54

<sup>23</sup> Sokka s.54



## 2.3. PUUN KUIVUMINEN

Puun kuivumisen voidaan ajatella jakautuvan kahteen vaiheeseen. Veden siirtymiseen puun sisäosista pinnalle ja veden poistumiseen puun pinnalta.

### 2.3.1. Kapillaari- ja diffuusiovirtaus

Lämmön vaikutuksesta puun pinnalta haihtuu kosteutta ja vesihöyryn paine-eron ajamana kosteus siirtyy puun keskeltä pintaan päin. Vapaa vesi siirtyy puun pintaan soluonteloita ja kanavia pitkin pääasiallisesti kapillaarivoimien vaikutuksesta.<sup>24</sup>

Sidottu vesi on vaikeammin poistettavissa. Se poistuu pääasiassa vasta vapaan veden jo poistuttua solukosta. Sidottu vesi poistuu puusta diffuusion avulla. Jos soluontelon seinä kuivuu lämmön vaikutuksesta alempaan kosteuteen kuin toisella puolella olevan solun ilman aikaansaama tasapainokosteus, alkaa tämän solun ilmasta siirtyä vettä soluseinämään, ja jos seuraavan solun ilma on vielä kuivempaa, siirtyy vesi edelleen seinämästä tähän ilmaan jne. Eli tapahtuu vuorotellen höyrystymistä ja tiivistymistä.<sup>25</sup>

Havupuiden rakenne on kapillaarisen kosteuden siirtymisen kannalta huomattavasti ongelmallisempi kuin lehtipuiden, mikä johtuu ennen kaikkea havupuiden monimutkaisesta huokosrakenteesta ja epämääräisestä huokosten aspiroitumisasteesta. Diffuusion kosteuden siirtymisen ja kosteuden sitoutumisen kannalta ei havu- ja lehtipuilla ole oleellista eroa.<sup>26</sup>

### 2.3.2. Veden siirtyminen puusta ilmaan

Puun kuivauksessa käytetään pääosin ilmaa väliaineena. Veden siirtyminen ilmaan tapahtuu sitä nopeammin mitä lämpimämpää ilma on ja mitä pienempi on ilman suhteellinen kosteus. Kuivattavan puun laadun kannalta suurella ilmankosteudella on kuitenkin parantava vaikutus, koska sillä hidastetaan veden haihtumista puun pinnalta, ja kun lämpötilaa nostamalla nopeutetaan veden siirtymistä puun sisäosista pintaan pienevät kosteuserot sisäosan ja pintojen välillä.<sup>27</sup>

Veden siirtymistä puusta ilmaan haittaa rajakerrosilmiö. Väliaineena toimivan ilman ja puun pinnan välille muodostuu rajakerros, jossa kuivausilman nopeus on lähellä nollaa. Juuri tämän rajakerroksen rikkoutumiseen pyritään viilunkuivauksessa suutinlaatikoiden reikien oikealla muodolla, kuivausilman virtauksen nopeudella ja pyörteisyydellä.

---

<sup>24</sup> Raute s.12

<sup>25</sup> Raute s.13

<sup>26</sup> Lemettinen s.56-57

<sup>27</sup> Raute s.14



## 2.4. VIILUN KUIVAUSPROSESSI

Perinteisen ajattelun mukaan viilun kuivauksessa on havaittavissa kolme eri vyöhykettä: lämmitys-, tasapaino- ja loppuvyöhyke. Lämmitysvyöhykkeessä viilu lämpenee, mutta sen kosteus ei juurikaan muutu. Lämpeneminen tapahtuu aluksi hyvin voimakkaana, mutta hidastuu, kun viilun ja kuivausilman lämpötilaero pienenee. Tasapainovyöhykkeessä veden poistuminen tapahtuu voimakkaana ja viilun lämpötila pysyy ilman märkälämpötilan suuruisena koko vyöhykkeessä oloajan. Vyöhykkeen loppupuolella veden höyrystyminen hidastuu ja viilu saavuttaa PSK:ta vastaavan kosteuden. Loppuvyöhykkeessä sidottu vesi poistuu diffuusion vaikutuksesta ja lämpömäärä kokonaisuudessaan ei kulu veden höyrystymiseen, ja viilu alkaa lähestyä kuivausilman lämpötilaa. Lopussa viilu jäädytetään. Tällä pyritään pienentämään viilun kosteuseroja ja kuivausjännityksiä.<sup>28</sup>

Viilun lämpötilan kohoaminen näyttää uusien tutkimusten valossa tapahtuvan jo aikaisemmin ja korkeammaksi, kuin perinteisesti on ajateltu tapahtuvan. Puumateriaali aiheuttaa huomattavan sisäisen vastuksen veden haihtumiselle, mikä hidastaa kuivausprosessia olennaisesti. Näennäisesti tämä vastus kasvaa lämpötilan kasvaessa, mutta todennäköisempi selitys on päinvastainen: niissä viiluissa, joissa sisäinen vastus syystä tai toisesta on suuri, kohoaa lämpötila korkeaksi. Pinnan kuivuessa nopeasti myös diffuusiovastus kasvaa. Haihtumisvastuksen voidaan olettaa vaihtelevan viiluissa puun uuteainepitoisuuden vaihtelun lisäksi muun muuassa syykulman vaihtelun vuoksi. Klassisen teorian mukaan viilun lämpötila pysyy kuivausilman märkälämpötilan määräämässä arvossa, kunnes vapaa vesi on poistunut. Uusimman tiedon mukaan näin ei tapahdu, vaan viilun lämpötila kohoaa märkälämpötilaa korkeammaksi käytännöllisesti katsoen heti kuivauksen alettua.<sup>29</sup>

Puun kuivumiseen vaikuttavat tekijät ovat<sup>30</sup>

- q Ilman lämpötila
- q Ilman kosteus
- q Ilman nopeus puun pinnalla
- q Puun tiheys
- q Puun paksuus
- q Puun solurakenne
- q Puulaji
- q Puun kosteus
- q Rajakerros puun pinnalla
- q Ilman kierron tasaisuus

<sup>28</sup> Raute s.16

<sup>29</sup> Oksanen s.24, Liite 1 s.3-4

<sup>30</sup> Sokka s.54

Sorvaus-kuivausprosessin teknisten ratkaisujen lisäksi kuivauskoneesta tulevan viilun loppukosteus vaihtelee eri tekijöiden vuoksi. Näistä tekijöistä tärkeimmät ovat

- Alkukosteuden hajonta, havulla erityisesti sydän- ja pintapuun erot.
- Puun materiaaliominaisuuksien vaihtelu (tiheys, diffuusiokerroin jne.).
- Epätasaiset kuivausolosuhteet eli kuivauslämpötilan ja ilman nopeuden sekä ilman kosteuden vaihtelu kuivauskoneen eri laidoilla ja tasoilla.
- Kuivausajan vaihtelu: kuivauskoneen epätasainen käynti, täyttöaste ja pysähtely.<sup>31</sup>

#### 2.4.1. Kuivauslämpötilan vaikutus viilun ominaisuuksiin

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää viilun kuivauslämpötilan aiheuttamat muutokset viilun ominaisuuksissa. Viiluille tehtiin syiden suuntaiset vetokokeet, rolling shear –leikkauskokeet ja tasapainokosteuskokeet. Koetulosten perusteella tarkasteltiin kuivauslämpötilan vaikutusta viilun tiheyteen, syiden suuntaiseen vetokimmokertoimeen ja vetolujuuteen, haurastumiseen, rolling shear –leikkauslujuuteen ja liukukertoimeen sekä tasapainokosteuteen.<sup>32</sup>

Ominaisuus	Kuivauslämpötilan nostaminen			
	20°C => 110°C	110°C => 180°C	110°C => 220°C	
		Tehdas u < 5 %	Laboratorio u = 0 %	Laboratorio u > 5 %
<b>Tiheys</b>	-	-	-	-
<b>Syiden suuntainen vetokimmokerroin</b>	+9,8 %	-17 %	-8,7 %	+6,2 %
<b>Syiden suuntainen vetolujuus</b>	+6,6 %	-41 %	-21 %	-
<b>Haurastuminen</b>	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
<b>Rolling shear - liukukerroin</b>	+9,4 %	ei koestettu	+11 %	+5,1 %
<b>Rolling shear - leikkauslujuus</b>	-	ei koestettu	+10 %	-
<b>Leikkauslujuuden ominaisarvo</b>	-14 %	ei koestettu	-23 %	-
<b>Tasapainokosteus</b>				
adsorptio > RH 70 %	-0,7 p-%	-0,9 p-%	-1,5 p-%	-1,0 p-%
desorptio > RH 50 %	-0,1 p-%	-0,5 p-%	-0,9 p-%	-0,7 p-%

Kuva 7 Kuivauslämpötilan nostamisen vaikutus 1,5 mm:n koivuviilun ominaisuuksiin.<sup>33</sup>

<sup>31</sup> Oksanen s.19

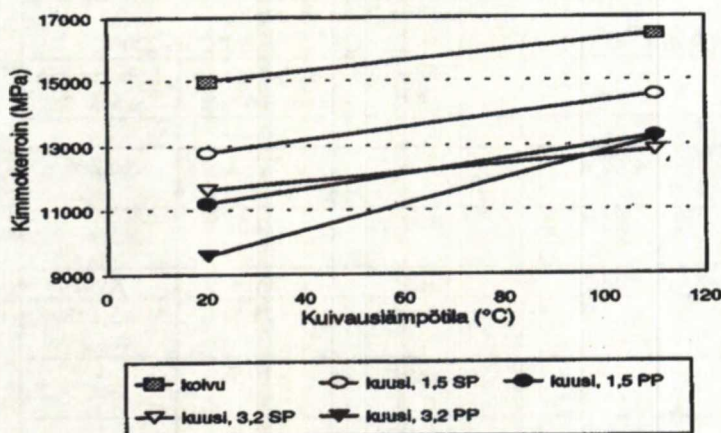
<sup>32</sup> Lehtinen 1997/2, s.47

<sup>33</sup> Lehtinen 1997/2, s.48, taulukko 11



Kasper Sokka

- Suurimmat lujuudet ja jäykkyydet saavutettiin viiluilla, jotka oli kuivattu 110°C:ssa tai vaihtoehtoisesti yli 200°C:ssa, mutta jätetty kuivauksessa yli 5% kosteuteen.
- Kuivauslämpötilan nostaminen 20°C:sta 110°C:een paransi kaikilla viiluilla veto- ja leikkausominaisuuksia eikä vaikuttanut viilujen tiheyteen.
- Kuivauslämpötilan nostaminen 110°C:sta 180-200°C:een alensi kuusiviilujen tiheyttä. Koivuviilujen tiheyteen ei kuivauslämpötilalla ollut vaikutusta.
- Kuivauslämpötilan nostaminen 110°C:sta 180-200°C:een pienensi leikkauslujuutta sekä vetolujuutta ja -jäykkyyttä, kun viilut kuivattiin alle 5%:n kosteuteen. Leikkausjäykkyys kuitenkin parani, kun kuivauslämpötilaa nostettiin.
- Kuivauslämpötilan nostaminen 20°C:sta 110°C:een haurastutti kaikkia viiluja. Kuivauslämpötilan nostaminen 110°C:sta 180-200°C:een haurastutti koivuviiluja, 1,5 mm:n kuusiviiluja ja kuusen 3,2 mm:n sydänpuuviiluja.
- Kuivauslämpötilan nostaminen alensi tasapainokosteutta. Lämpötilan vaikutus tasapainokosteuteen oli selvempi adsorptiossa kuin desorptiossa. Lisäksi ylikuivattujen (0%) ja alle 5% kosteuteen kuivattujen viilujen tasapainokosteudet olivat alhaisemmat kuin kuivauksessa kosteammiksi jätetyillä viiluilla,
- Kuivauslämpötila vaikutti voimakkaammin ohuempien viilujen mekaanisiin ominaisuuksiin, kun taas tasapainokosteudet alenivat enemmän paksuilla viiluilla.<sup>34</sup>

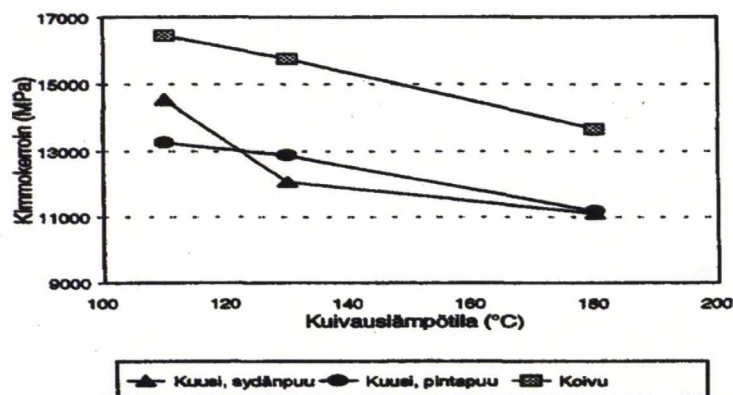


Kuva 8 Alhaisen kuivauslämpötilan vaikutus viilun vetokimmokeroimeen, SP=sydänpuu, PP=pintapuu.<sup>35</sup>

<sup>34</sup> Lehtinen 1997/2, s.47 ja 48

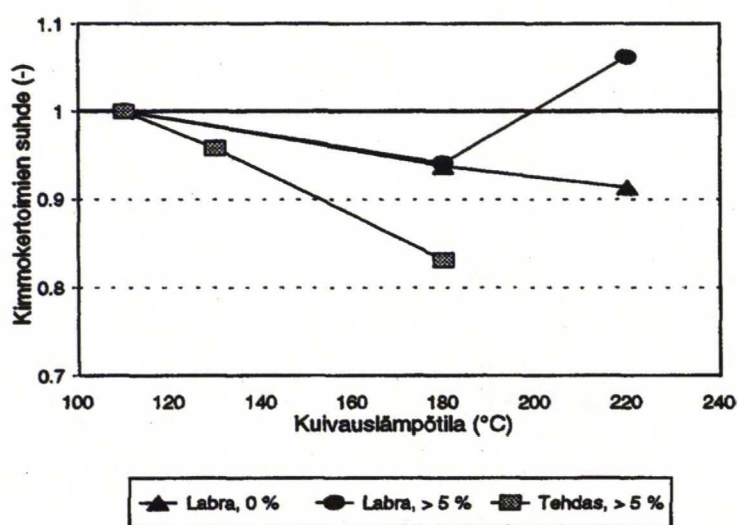
<sup>35</sup> Lehtinen 1997/2, s.32, kuva 18





Kuva 9 Kuivauslämpötilan vaikutus alle 5% kosteuteen kuivattujen 1,5 mm:n koivu- ja kuusiviilujen vetokimmokeroimiin.<sup>36</sup>

Koivu- ja kuusiviilujen vetokimmokertoimet olivat suurimmat 110°C:een lämpötilassa kuivatuilla viiluilla. Kimmokertoimet pienenevät kuivauslämpötilan kasvaessa yli 110°C:een. Huoneenlämpötilassa (20°C) kuivattujen viilujen kimmokertoimet olivat 4-28%:a alhaisempia kuin lämpötilassa 110°C:ssa kuivattujen viilujen sekä kuusella että koivulla.<sup>37</sup>



Kuva 10 Kuivauslämpötilan ja kuivauksen jälkeisen kosteuden vaikutus koivuviilun kimmokertoimiin.<sup>38</sup>

<sup>36</sup> Lehtinen 1997/2, s.32, kuva 17

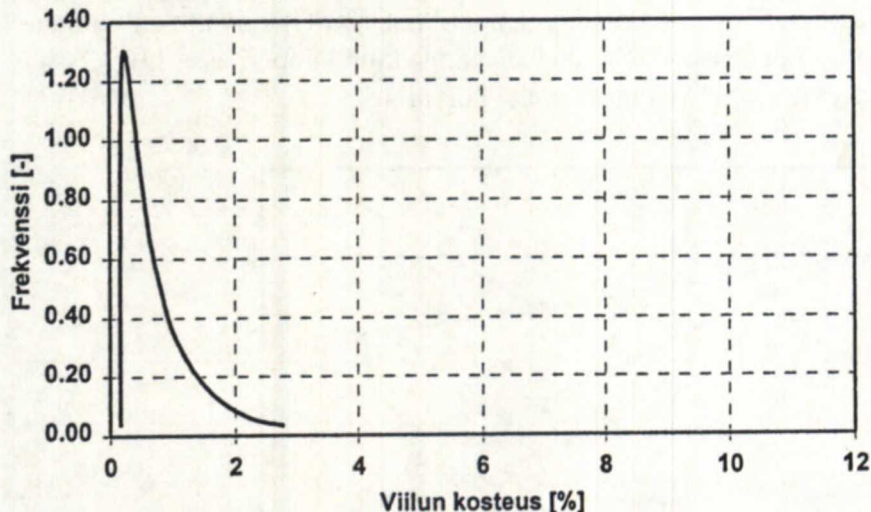
<sup>37</sup> Lehtinen 1997/2, s.32

<sup>38</sup> Lehtinen 1997/2, s.34, kuva 20

## 2.5. VIILUN KOSTEUDEN HALLINTA KUIVAUKSESSA

### 2.5.1. Nykyiset viilunkuivaajat

Viilun ylikuivaus on yksi tärkeimmistä epäkohdista kuivaajatyypistä riippumatta. Ylikuivaus aiheuttaa kapasiteetin menetystä ja energian tuhlausta samoin kuin myöhemmissä prosessivaiheissa viilujen rikkoutumista. Yleensä vaneritehtailla on määritelty tavoitekosteus ja kosteuden yläraja, sekä toimintaohjeet ylärajan ylitystapauksissa, mutta liian alhaisille kosteuksille ei vastaavia toimintaohjeita ole. Kuivaukselle onkin asetettava tavoite millä kosteustasolla lähinnä liimaustulos ja tietenkin sitä seuraavien työvaiheiden tulos on riittävän hyvä. Viilun kosteuden tavoitetaso määrittely pelkästään sen mukaan, että viilut ovat kosteudeltaan jonkin ennaltamäärätyn kosteuden ylärajan alapuolella on liian jähkkä ja aiheuttaa pyrittäessä korkeampiin kuivan viilun loppukosteuksiin turhia hälytyksiä laadunvalvonnan osalta. Kiinteä, ennalta aseteltu yläraja johtaa helposti siihen, että viilut kuivataan suurelta osin liian kuiviksi<sup>39</sup>.



Kuva 11 Tyypillinen viilun loppukosteuden tilastollinen jakauma nykyisin käytössä olevassa kuivaskoneessa.<sup>40</sup>

Kuivauskoneissa on jatkuvatoimisia kuivausilman kosteus- ja lämpömittareita sekä kuivan viilun kosteusmittareita, joiden avulla koneen käyttäjä manuaalisesti säätää konetta. Yleensä säätäminen tapahtuu kuivan viilun loppukosteuden mukaan. Loppukosteus pyritään pitämään aina alle annetun hälytysrajan säätämällä joko nopeutta tai lämpötilaa. Mutta edelleen säilyy säätöongelma: manuaalinen, ihmisen suorittamiin säätöihin perustuva ohjaus ei välttämättä ole riittävän tarkka todella hyvään tulokseen pyrittäessä.<sup>41</sup>

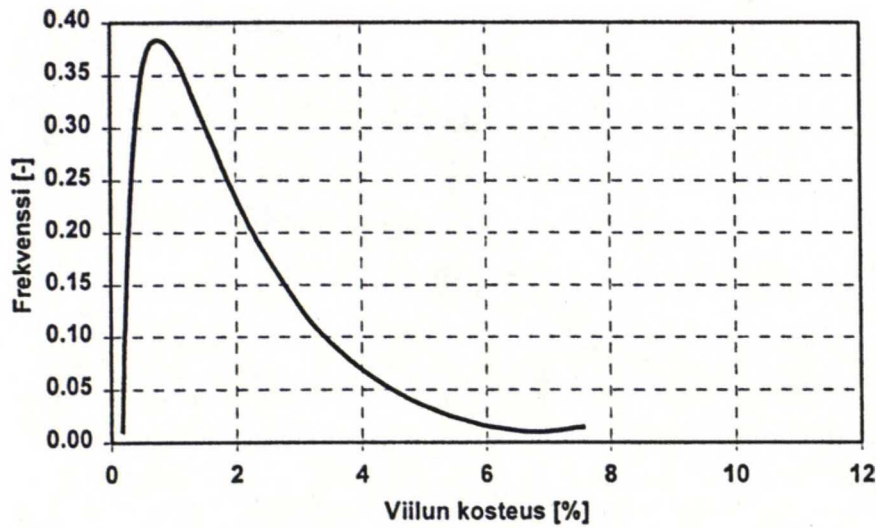
<sup>39</sup> Luukkainen s. 61

<sup>40</sup> Oksanen s. 23, kuva 15

<sup>41</sup> Luukkainen s.61, Oksanen s.24 ja s.26



Nykyisiä kuivauskoneita voidaan parantaa lisäämällä niihin säätöjärjestelmä, joka säätää kuivaustapahtumaa käyttäen ratanopeutta, lämpötilaa ja ilmankosteutta. Hyvän säätöjärjestelmän avulla kosteuden keskiarvoa voidaan hallitusti nostaa siten, että pystytään tuottamaan viiluja, joista jokin tietty prosenttiosuus jää asetettua kosteuden ylärajaa kosteammiksi. Tämän edellytyksenä on loppukosteuden tilastollisen jakauman tunteminen. Koneen kapasiteetti kasvaa säädön avulla noin 10 %, minkä lisäksi energian kulutus alentuu 15-20 %. Pelkkä ilman kosteuden säätö ei mahdollista nykyistä olennaisesti korkeampaa loppukosteutta.<sup>42</sup>



Kuva 12 Viilun loppukosteuden tilastollinen jakauma nykytyyppisessä kuivauskoneessa, kun ratanopeus ja ilmankosteus on optimoitu tavoitteena saada 98 % viiluista alle 5 % kosteuteen.<sup>43</sup>

### 2.5.2. Uudentyyppinen viilunkuivaaja

TKK:lla kehitetty viilun kuivauksen simulointiohjelma perustuu yksittäisten viiluarkkien kuivumisen simulointiin, jolloin tarkastelemalla rinnakkain useiden ominaisuuksiltaan erilaisten viiluarkkien kuivumista päästään käsiksi viilun loppukosteuden tilastolliseen jakaumaan. Simuloinnissa tarkasteltujen materiaaliominaisuuksien suhteen Oksasen esiselvityksessä rajoituttiin 1,5 mm paksun koivuviilun tarkasteluun.<sup>44</sup>

Viiluerässä olevien yksittäisten viilujen alkukosteudet voivat vaihdella huomattavasti. Ominaisuuksiltaan erilaisten viilujen kuivumisen simulointi rinnakkain mahdollistaa koko viiluerän simuloinnin. Tämä mahdollistaa millaisen tahansa alkukosteusjakauman käytön syöttötietona. Käytännön kannalta tärkeää

<sup>42</sup> Luukkainen s.61, Oksanen s.24 ja s.26

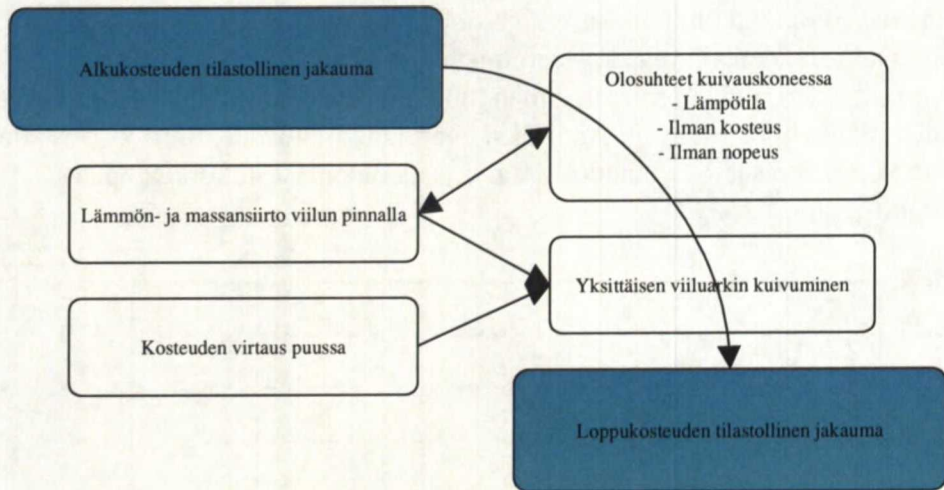
<sup>43</sup> Oksanen s.25, kuva 18

<sup>44</sup> Oksanen s.18



Kasper Sokka

on, että voidaan tutkia kosteimpien ja kuivimpien viilujen kosteuspitoisuuden kehittymistä.<sup>45</sup>



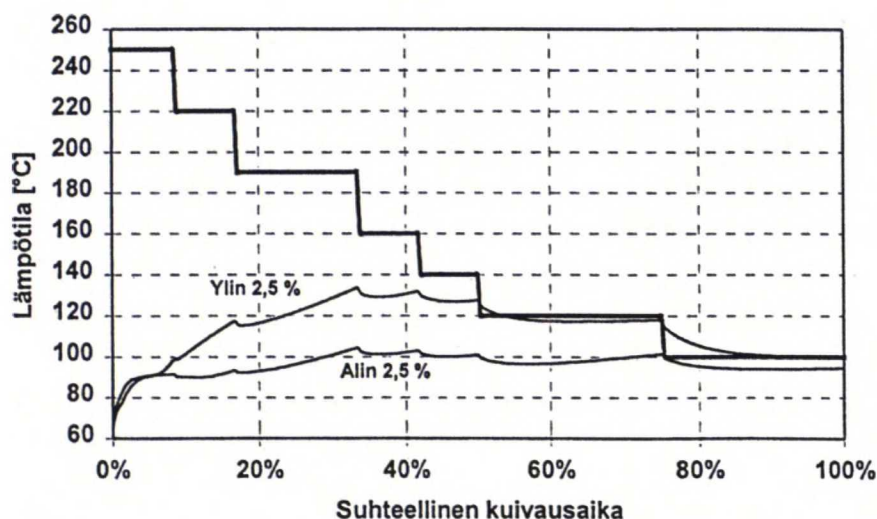
Kuva 13 Viilunkuivauksen simulointiohjelman rakenne<sup>46</sup>

Vain kokonaan uudentyyppisellä kuivauskoneella voidaan saavuttaa viilunkuivauksen laadussa olennainen parannus. Tällaisessa kuivauskoneessa viilu käy läpi optimoidun kuivauskäyrän, jossa nykyistä korkeammasta, aina 250 °C kuivauslämmöstä huolimatta viilun lämpötila jää alhaiseksi ja korkean lämmön aiheuttama viilun lujuuden aleneminen ja värimuutokset jäävät suurimmaksi osaksi pois. Loppukosteuden jakauma on nykyistä kontrolloidumpi: keskiarvo esimerkiksi 6 % ja 95 % viiluista välillä  $7 \pm 3$  %. Liian alhaiset, lähellä absoluuttisen kuivaa olevat kosteudet jäävät pois, kuten myös nykyisissä kosteuskajaumissa esiintyvä pitkä ylikosteiden häntä. Kuivausaika pitenee jonkin verran nykyisestä, riippuen lähinnä halutusta hajonnan tasosta.<sup>47</sup>

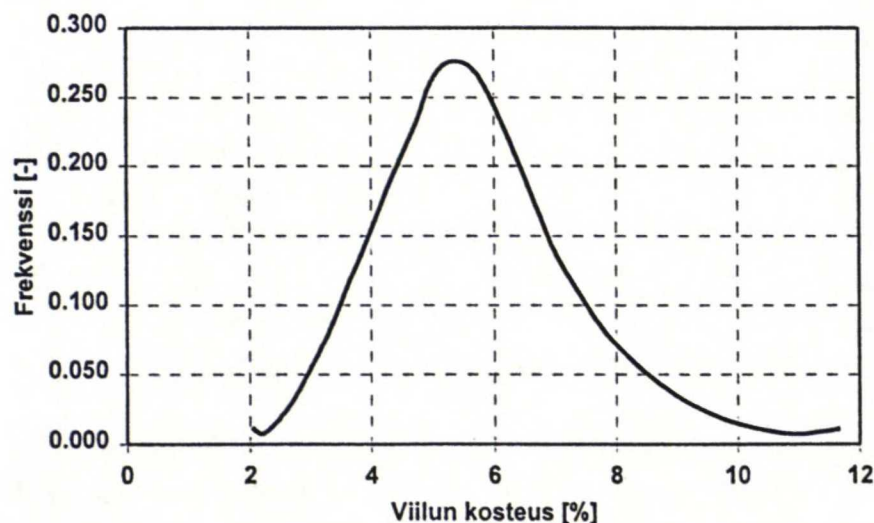
<sup>45</sup> Pulkkinen, tiivistelmä

<sup>46</sup> Oksanen s.18, kuva 11

<sup>47</sup> Oksanen s.25 ja kuvat 15-21



Kuva 14 Tulevaisuuden kuivauskoneessa toteutuva kuivauskaava (telakuivaaja). Paksu käyrä kuvaa kuivauskoneen lämpötilaa ja ohuet käyrät viilun lämpötilan vaihteluväliä.<sup>48</sup>



Kuva 15 Viilun loppukosteuden tilastollinen jakauma tulevaisuuden kuivauskoneessa.<sup>49</sup>

Kuivausprosessin hallitsemattomuus johtaa, kuten edelläkin mainittiin, energian tuhlaukseen, viilun heikkoon tekniseen laatuun ja kuivauskapasiteetin vajaakäyttöön. Kuivauksen saattaminen hallituksi prosessiksi on toki monimutkaista, mikä lienee pääasiallinen syy sen nykyiseen kontrolloimattomuuteen. Ongelmia aiheuttavat etenkin viilun alku- ja loppukosteuden mittaukset. Kuivauksen kannalta kosteushajonta on hallittava

<sup>48</sup> Oksanen s.25, kuva 19

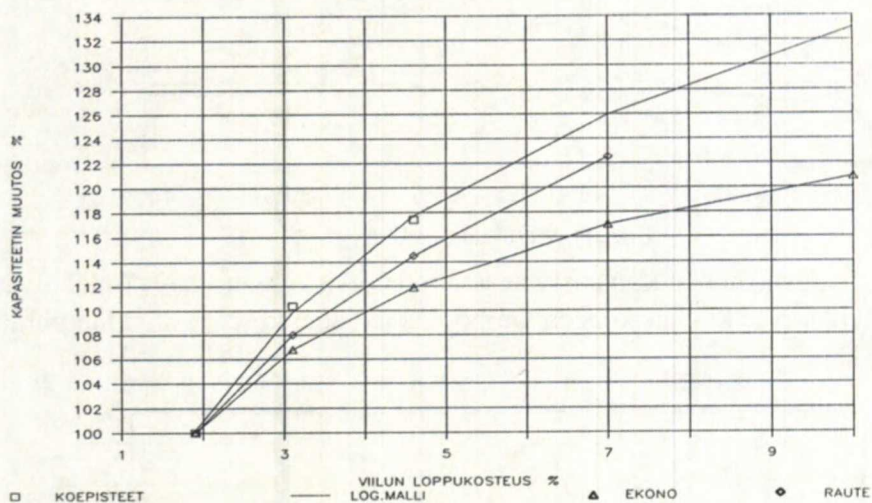
<sup>49</sup> Oksanen s.26, kuva 21



Kasper Sokka

tilastomatemattisin menetelmin. Jotta kuivaus todella voidaan optimoida, on kosteusjakaumat tunnettava.<sup>50</sup>

Kuvassa 16 on esitetty kuivauskoneen kapasiteetin riippuvuutta kuivatun viilun loppukosteudesta. Siinä on esitetty VTT:n kokeiden perusteella laskettu logaritminen malli sekä kahdella eri simulointiohjelmalla lasketut mallit.



Kuva 16 Kuivauskoneen kapasiteetin riippuvuus kuivatun viilun loppukosteudesta. VTT:n kokeiden kolmen koepisteen avulla laskettu logaritminen malli sekä EKONO Oy:n ja Raute Oy:n kuivauksen simulointiohjelmilla lasketut mallit.<sup>51</sup>

## 2.6. VIILUN KOSTEUS VARASTOINNIN AIKANA

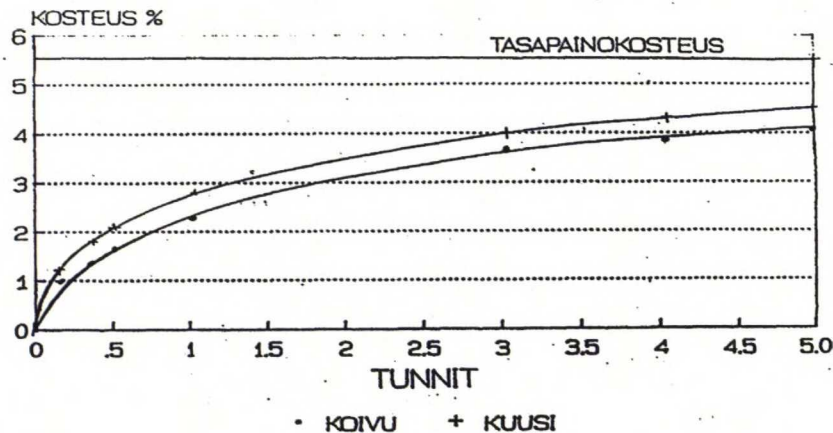
Viilun hakeutuminen tasapainokosteuteen miltei absoluuttisen kuivasta tilasta on melko nopeaa. Tasapainokosteuden ollessa 5,5% yksittäisen viilun kosteus nousee 4 %:iin noin kolmessa tunnissa. Lähestyttäessä tasapainokosteutta kostuminen hidastuu. Tasapainotila saavutettiin tässä tapauksessa koivuviilulla noin 24 tunnissa ja havuviilulla noin 12 tunnissa.<sup>52</sup>

<sup>50</sup> Oksanen s.27

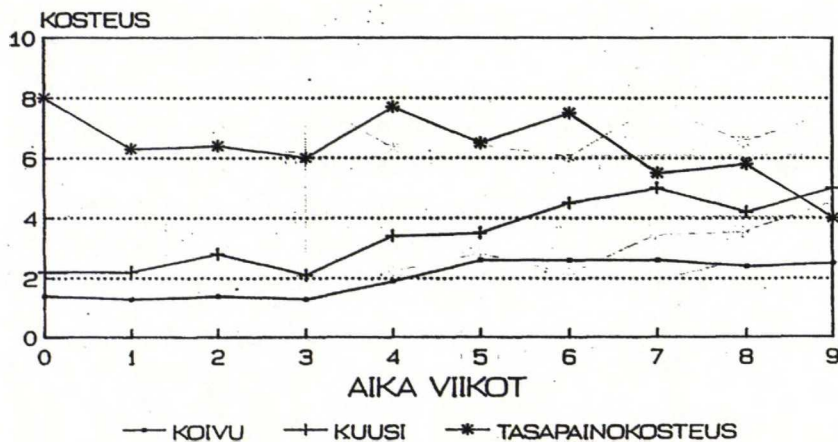
<sup>51</sup> Söyrlä 1989 s.30, kuva 8

<sup>52</sup> Kemppainen, s.23-26

Kasper Sokka

Kuva 17 Viilun kosteus vapaassa tilassa.<sup>53</sup>

Koska viilu pinkataan kuivaajan jälkeen, on sen kosteuden tasaantuminen huomattavasti hitaampaa. Riippuen viilukuorman tiiviyydestä koivuviilut saavuttavat tasapainokosteuden noin 4 kuukaudessa ja havuviilut noin 2 kuukaudessa.<sup>54</sup>

Kuva 18 1,5 mm viilun kosteus pinkassa.<sup>55</sup>

Kuten kuvasta 19 nähdään, kauan varastoidussa viiluarkissa kosteus on jakaantunut hyvin epätasaisesti viilun keskellä ja reunoilla. Tuoreessa viiluarkissa ulkoiset olosuhteet eivät ole ehtineet vielä vaikuttaa viilun kosteuteen ja siksi sen kosteus on melko tasainen. Viiluarkit on otettu pinkan keskivaiheilta.<sup>56</sup>

<sup>53</sup> Kemppainen, s.27<sup>54</sup> Kemppainen, s.23-26<sup>55</sup> Kemppainen, s.27<sup>56</sup> Tarvainen, s.57



5,1		4,2		4,8	3,0		3,3		4,1
4,0		1,3		5,1	3,3		3,6		3,6
4,6		4,0		5,1	3,0		2,9		2,9
n. 2 kk varastossa					n. 1 vrk varastossa				

Kuva 19 1,5 mm paksujen viiluarkkien kosteudet prosentteina.<sup>57</sup>

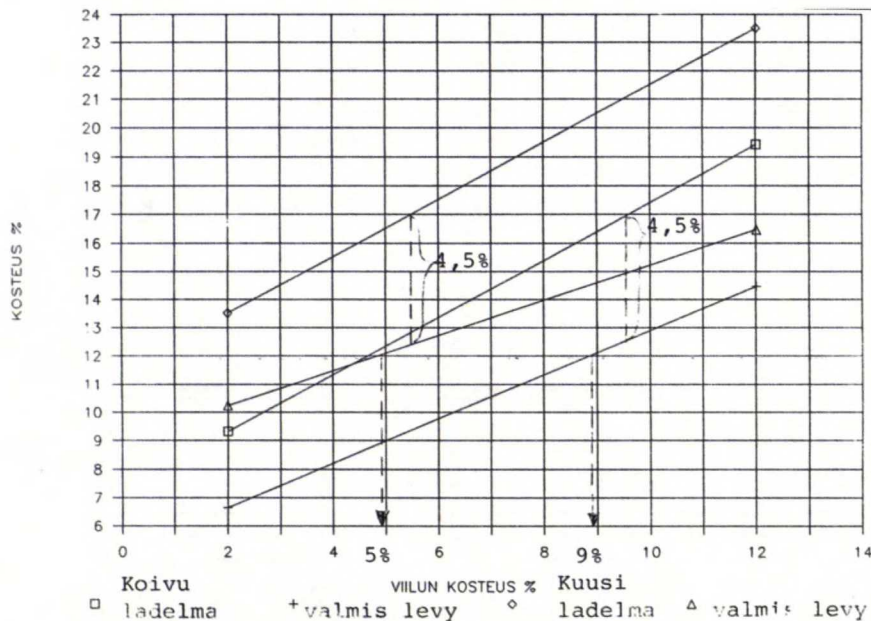
## 2.7. VIILUN KOSTEUS LIIMAUKSESSA

Osa viilujen ja liiman mukana tulevasta kosteudesta poistuu kuumapuristuksen aikana. Poistuvan kosteuden määrä on prosenttiyksikköinä ilmaistuna koivu- ja kuusivanerilla samansuuruinen, kun aihoiden kosteudet ovat yhtä suuret. Söyrlän kostean viilun liimausta koskevien tutkimusten mukaan ladelman kosteuden ollessa esimerkiksi 17 % alenee kummankin vanerilaadun kosteus kuumapuristuksessa noin 4,5 prosenttiyksikköä. Kuusi- ja koivuvanerien neliöpainojen suhde on sama kuin viilujen painojen suhde, joka on noin 1 : 1,4. Näin ollen poistuu kuumapuristuksen aikana koivuvanerista noin 40 % enemmän vettä kuin kuusivanerista. Koska molempiin vanerilaatuihin tulee liiman mukana jotakuinkin yhtä paljon vettä, jää valmis kuusivaneri kosteammaksi kuin koivuvaneri. Kuljetuksessa, pitkäaikaisessa varastoinnissa ja rakennuspaikoilla vanerin tasapainokosteus on noin 12 %. Jos tämä asetetaan tavoitekosteudeksi, tulisi käytettyjen kuusiviilujen kosteuden olla noin 5 % ja koivuviilujen noin 9 %.<sup>58</sup>

<sup>57</sup> Tarvainen, s.57, kuva 69

<sup>58</sup> Söyrlä 1989 s.51-52

Kasper Sokka



Kuva 20 Esipuristetun levyaihion ja valmiin vanerin kosteuden riippuvuus viilujen kosteudesta. Koeaineistosta lasketut lineaariset mallit.<sup>59</sup>

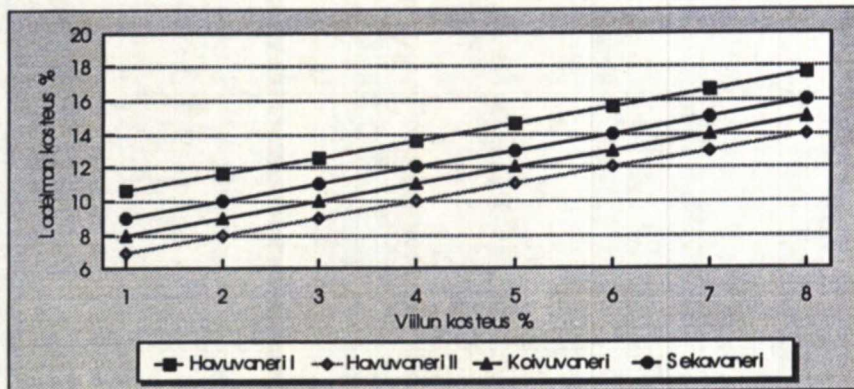
Viilun kosteuden ja liimanlevityksen vaikutusta ladelman ja valmiin vanerin kosteuteen ovat tutkineet myös Luukkainen, Rinne ja Fredrikson diplomitoissään ja he ovat kaikki päätyneet samansuuntaisiin toteamuksiin, jotka koskivat kuivan viilun kosteutta ja kuivausprosessin hallintaa.

Luukkaisen tutkimuksessa 10 g/m<sup>2</sup> muutos liiman levityksessä aiheutti noin 0,5 prosenttiyksikön muutoksen ladelman kosteudessa. Yhden prosenttiyksikön lisäys viilunkosteudessa lisäsi ladelman kosteutta vastaavasti noin 1 prosenttiyksiköllä. Samanpaksuisen ladelman kosteus oli aivan erilainen riippuen käytetystä viilulajista ja rakennevaihtoehdosta. Paksuviiluiset havuvanerirakenteet sallivat korkeampia viilunkosteuksia kuin ohutviilurakenteet. Jos ladelman tavoitekosteutena pidettiin 14 %, havun paksuviilurakenteet sallivat viilunkosteuden olevan keskimäärin noin 8 %, kun taas ohutviilurakenteisella havulla vastaava viilunkosteus oli noin 4 % ja koivulla noin 6 %. Käytetyn hartsin kuiva-ainepitoisuus oli noin 49 % ja lisätyn veden osuus liimaseoksesta noin 51 %. Ladelmat olivat 12 mm:n vaneria eri rakenteilla. Kuvat 21-24 esittävät viilun kosteuden, liiman levitysmäärän, viilukerrosten lukumäärän ja puulajin vaikutusta ladelman kosteuteen.<sup>60</sup>

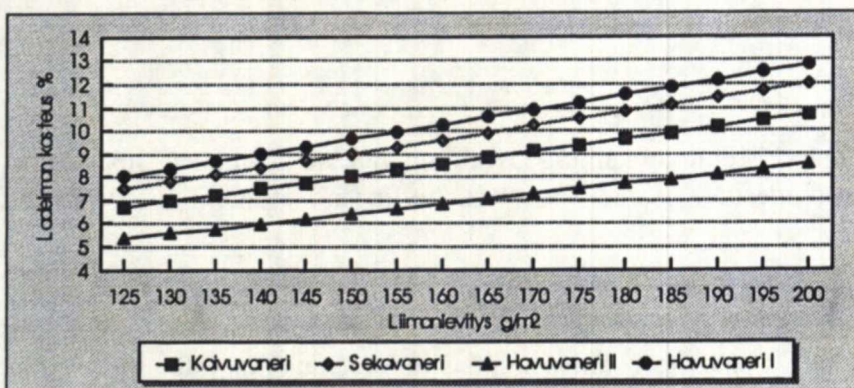
<sup>59</sup> Söyrilä 1989 s. 52, kuva 13

<sup>60</sup> Luukkainen s.55-58

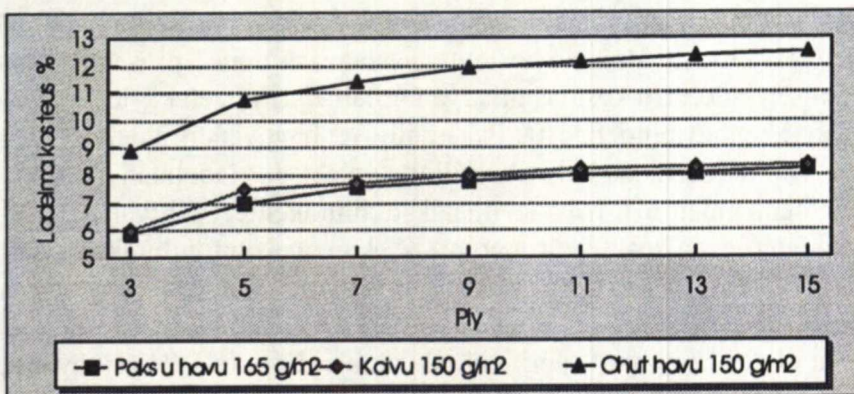




Kuva 21 Viilun kosteuden vaikutus ladelman kosteuteen. Havuvaneri I ohutviilurakenne ja havuvaneri II paksuviilurakenne.<sup>61</sup>



Kuva 22 Liiman levitysmäärän vaikutus ladelman kosteuteen. Havuvaneri I ohutviilurakenne ja havuvaneri II paksuviilurakenne.<sup>62</sup>



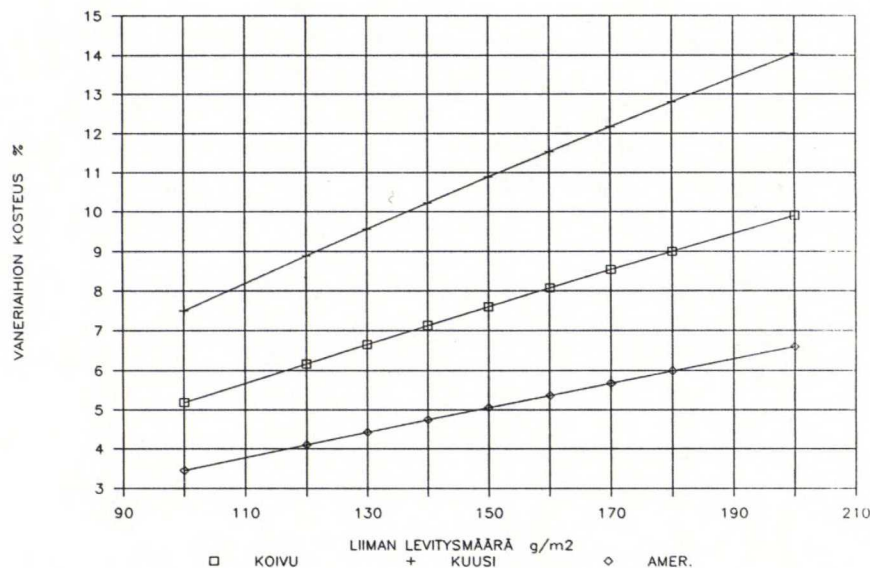
Kuva 23 Viilukerrosten määrän vaikutus ladelman kosteuteen.<sup>63</sup>

<sup>61</sup> Luukkainen s.57, kuva 60

<sup>62</sup> Luukkainen s.56, kuva 58

<sup>63</sup> Luukkainen s.58, kuva 61

Kasperi Sokka



Kuva 24 Liimamäärän sekä viilun puulajin ja paksuuden vaikutus vaneriaihion kosteuteen (koivu 1,5 mm 9-ply, kuusi 1,5 mm 9-ply, amer. kuusi 3 mm 5-ply ja kaikkien viilujen kosteudet 0 %, ja liiman kuiva-ainepitoisuus 48 %).<sup>64</sup>

Padatsun tutkimuksen mukaan viilun keskikosteuden nosto noin 5-6 prosenttiin on liimaukselle edullista. Ladelmat kestävät näin paremmin pidempiä avoimia aikoja. Myös kuivauskustannukset putoavat kapasiteetin lisääntyessä. Kun viilun kosteutta saadaan nostettua kosteushajonnan pysyessä kontrollissa, voidaan liimareseptistä poistaa vastaava osuus vettä. Näin toimien ontoista levyistä ei ole vaaraa. Ladelmassa tulisi koivuviiluilla olla vettä noin 110-140 g/m<sup>2</sup> riippuen avoimen ajan pituudesta. Paksuille havuviiluille veden tarve on 10-15 g/m<sup>2</sup> suurempi. Koivuviilussa (1,5 mm:n viilu) on 18 g/m<sup>2</sup> vettä, kun viilun kosteus on 2,5 %. Kosteuden ollessa 5 % vettä on 36 g/m<sup>2</sup>. Näillä tiedoilla voidaan helposti laskea liimasta tarvittava vesimäärä, kun viilun kosteus muuttuu.<sup>65</sup>

Lahden resepti		optimoitu resepti	
Exter 4012	500	Exter 4012	500
Ex-2655	82	Ex-2655	85
pesuvesi	78 (10 %)	puhdasvesi	140
	660		725
hartsipitoisuus:	37.5%	hartsipitoisuus:	33.1%
kuiva-aineprosentti:	50.0%	kuiva-aineprosentti:	44.8%

Kuva 25 Lahden tehdasliimareseptin ja optimoidun liiman reseptien vertailu.<sup>66</sup>

<sup>64</sup> Söyriä 1989 s.33, kuva 9

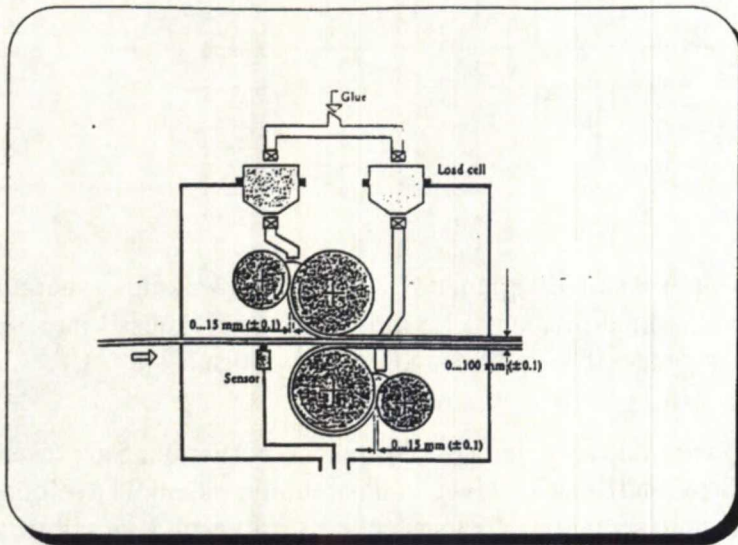
<sup>65</sup> Padatsu s.86

<sup>66</sup> Padatsu s.74, taulukko 32



Kasper Sokka

Optimoidun liiman resepti poikkeaa melkoisesti Lahden tehdasreseptistä. Optimoidun liimareseptin kuiva-ainepitoisuus on selvästi pienempi. Tehdasliimalla optimaalinen hartsin kuiva-aineen määrä liimasaumassa saadaan levityksellä 130-140 g/m<sup>2</sup>, mutta sopiva veden määrä liimasaumassa saadaan levityksellä 160-170 g/m<sup>2</sup>. Jos levitystä lähdetään pudottamaan nykyisistä määristä tulee liimasaumaan liian vähän vettä. Tällöin riittävää kostumista ei tapahdu ja levyjen esipuristustartunta ei onnistu.<sup>67</sup>



Kuva 26 4-telalevittimen periaatekuva.<sup>68</sup>

Optimiliimalla sopiva hartsin ja veden määrä kulkevat käsi kädessä levitysmäärän muuttuessa. Tällöin liimasaumaan tulee riittävästi vettä pienilläkin hartsin levitysmäärillä. Optimoitu liima tarvitsee kehittelyä ennen kuin säästöjä saavutetaan käytännössä. Liima ei sovellu sellaisenaan telalevitykseen (kuva 26) ilman hartsin modifiointia.<sup>69</sup>

## 2.8. VANERIN LIIMAUS

### 2.8.1. Urea-formaldehydiliima

Ominaisuuksiltaan ureaformaldehydihartsit eroaa fenoliformaldehydihartsista. UF hartsin pH on Suomessa tyypillisesti välillä 7,8-8,6 ja kuiva-ainepitoisuus välillä 65-67 %. FF hartsin pH on Suomessa yleensä välillä 11-12,5 ja kuiva-ainepitoisuus välillä 41-48 %. UF hartsin säilytysaika on lyhyempi kuin FF

<sup>67</sup> Padatsu s.74-75

<sup>68</sup> Koponen, H. 1990, s.92

<sup>69</sup> Padatsu s.74 ja 84

Kasper Sokka

hartsin. UF hartsi on yleensä myös herkempi ladonta- ja seisotusaikojen venymisen suhteen kuin FF hartsi.<sup>70</sup>

Urea valmistetaan hiilidioksidista ja ammoniakista ja formaldehydi hiilimonoksidista hydraamalla se vedyn kanssa, jolloin saadaan metyylialkoholia. Tämä hapetetaan sen jakeen formaldehydiksi. Urea on valkea kiteinen aine. Formaldehydi on sen sijaan kaasumainen aine, joka valmistusvaiheessa johdetaan veteen ja jonka vesiliuosta kutsutaan formaliiniksi.<sup>71</sup>

Urean ja formaldehydin reagoidessa keskenään muodostuu monometyloli- tai dimetyloli-ureaa sen mukaan, kuinka runsaasti formaldehydiä on läsnä. Jos reaktio tapahtuu happamissa olosuhteissa, syntyy tyydyttämättömän sidoksen sisältävää metyleeniureaa.<sup>72</sup>

Ureahartseja (UF) ovat kertamuoviliimat, joissa urea muodostaa aminosidoksen  $-C-NH_2$  formaldehydin kanssa. Hartsi muodostuu kahdessa vaiheessa formaldehydin liittyessä aluksi aminoryhmiin ja muodostaessa kondensoitumiskykyisiä ryhmiä, jotka reaktion loppuvaiheessa kondensoituvat suuriksi avaruusmolekyyleiksi. Kondensoituminen alkaa vasta happamissa olosuhteissa metylooli- ja aminoryhmien välillä.<sup>73</sup>

Urealiimojen kovettuminen tapahtuu muuttamalla liimaliuoksen reaktio happamaksi ja käyttämällä samanaikaisesti lämpöä nopeuttamaan kovettumista, jolloin tullaan toimeen pienemmällä happamuuden muutoksella. Kovetukseen käytetään voimakkaiden happojen ammoniumsuoloja.<sup>74</sup>

Urean joukkoon voidaan lisätä joko melamiinia tai melamiiniformaldehydin kondensaattia eli melamiiniliimaa. Lisättäessä melamiinia liimasauman keitonkestävyys paranee, sillä melamiini reagoi urealiimassa vapaana olevan tai liiman kovettuessa vapautuvan formaliinin kanssa muodostaen melamiiniformaldehydikondensaatin. Melamiiniliiman lisäys vaikuttaa nopeuttavasti kovettumisreaktioon, mikäli kuumapuristuslämpötila on yli 100°C.<sup>75</sup>

Viime vuosina on julkaistu useita artikkeleita koskien UF-liiman kosteudensietokykyä ja sitä lisääviä sekä formaldehydiemissioita vähentäviä toimenpiteitä. Kosteudensietokyvyn lisäystä on haettu melamiinisuolojen lisäämisellä liiman valmistusvaiheessa, jolloin myös saavutetaan

---

<sup>70</sup> Koponen, H. 1993

<sup>71</sup> Sorsa 1962, s.78

<sup>72</sup> Sorsa 1962, s.78

<sup>73</sup> Koponen, H. 1974, s.64

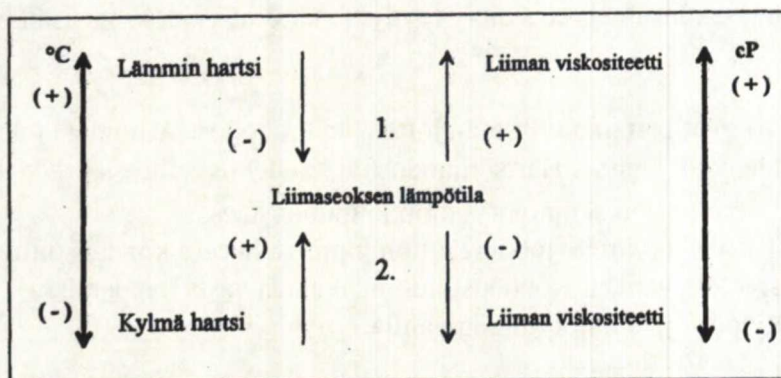
<sup>74</sup> Sorsa 1962, s.82-84

<sup>75</sup> Sorsa 1962, s.101



kustannussäästöjä verrattuna esivalmistettuihin MUF-hartseihin.<sup>76</sup> Lisäksi on kokeiltu dialdehydien (butaanidiaalin, eng. succinaldehyde) lisäämistä liimaseokseen UF-liiman kosteudensietokyvyn parantamiseksi ja formaldehydiemissioiden vähentämiseksi.<sup>77</sup> Kosteudensietoa on saatu nostettua myös lisäämällä liimaseokseen jätenylonkuidusta hydrolysoituja kloridisuoloja. Suolat toimivat kokeessa ainoana kovettimena.<sup>78</sup> Tutkimuksissa on myös todettu lisäämällä proteiineja (muna-albumiini) ja tanniineja niiden reagoivan formaldehydin kanssa parantaen liimaseoksen kosteudensietokykyä.<sup>79</sup>

### 2.8.2. Eri tekijöiden vaikutus liimauksessa (FF-harts)



Kuva 27 Hartsin lämpötilan vaikutus liimaseoksen viskositeettiin kun hartsi on 1. lämpimämpää tai 2. kylmempää kuin liimaseos.<sup>80</sup>

Liimaukseen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu useissa opinnäytetöissä. Vaikka tutkimukset on tehty fenoliformaldehydiliimoilla, niin tulokset ovat todennäköisesti samansuuntaisia ureaformaldehydiliimalle. Suurimmat liiman viskositeettiin vaikuttavat tekijät olivat pesuveden laatu, hartsin lämpötila ja hartsin viskositeetti. Hartsin viskositeettiin liittyy läheisesti hartsin lämpötila, kuten kuvasta 27 käy ilmi. Havaittiin, että viskositeetin hajonta oli varsin pieni, kun olosuhteet pysyivät vakiona. Kun olosuhteet muuttuivat, esim. uuden hartsierän käyttöönotto, reseptin vaihto tai pesuveden väkevyys vaihteli, alkoi liiman viskositeetti liukua uudelle tasolle. Nopeimmat viskositeetin muutokset havaittiin reseptien vaihdon yhteydessä.<sup>81</sup>

Todettiin, että suurin yksittäinen viskositeettiin vaikuttava tekijä oli epätarkkuus liimareseptien välillä. Tämä johtui pesuveden kuiva-ainepitoisuuden vaihtelusta. Pesuveden hallinta voidaan suorittaa mittaamalla ja reseptiä säätämällä tai

<sup>76</sup> Prestifilippo, s.393

<sup>77</sup> Wang 1997/1, s. 9

<sup>78</sup> Wang 1997/2, s. 91

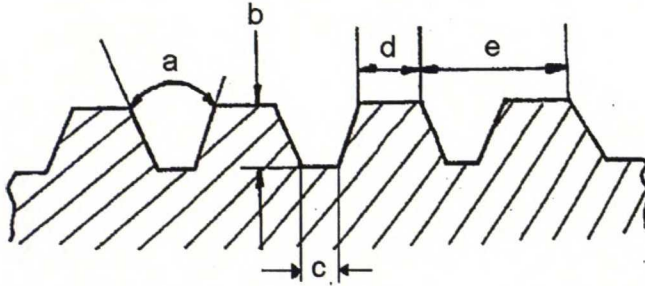
<sup>79</sup> Wang 1997/3, s.158

<sup>80</sup> Pussi, s.103, kuva 34

<sup>81</sup> Pussi, s.117-118

laimentamalla pesuvettä. Laimennuksella kuiva-aineen osuus voidaan jakaa hyvin pieneksi koko reseptin kuiva-ainepitoisuuteen nähden.<sup>82</sup>

Hartsin lämpötila ja viskositeetti vaikuttivat pääasiassa ympäristön lämpötilan kautta. Varsinainen säätö hartsille tehdään liimatehtaalla, mutta varastointiolosuhteet vaihtelevat vuodenajan mukaan niin liima- kuin vaneritehtaalla. Ympäristön lämpötilavaikutusten eliminointi estää vuodenajan mukaan tapahtuvan liimaseoksen lämpötilan ja viskositeetin muuttumisen.<sup>83</sup>



Kuva 28 Uraprofiilin leikkauksen tärkeimmät mitat: a uran aukeama asteina, b uran korkeus, c uran pohjan leveys, d harjanteen leveys ja e nousu.<sup>84</sup>

Levitystelan urituksen profiililla, syvyydellä ja kumin kovuudella vaikutetaan levityksen tasaisuuteen, liimamäärään ja säädön tarkkuuteen. Urituksen muodon valintaan vaikuttavat liima, puulaji ja haluttu levitysmäärä. Uritus voidaan suorittaa joko yhdensuuntaisesti tai spiraalisesti. Urien poikkileikkausalan suuruudella määrätään liimamäärä ja urien tiheys vaikuttaa suurelta osin levityksen tasaisuuteen. Mitä tiheämpi uritus on ja mitä pehmeämpi käytetty kumiseos on, sitä tarkempaa on levityksen säätäminen. Uraan kertyvä liimamäärä on tällöin vähäisempi ja sen levittyminen viilun pinnalle tarkempi. Pehmeämpi kumiseos myötäilee paremmin viilun pintaa, mutta samalla tela kuluu nopeammin ja se joudutaan urittamaan (sorvaamaan) useammin. Yhden telan voi sorvata noin 3-4 kertaa ennen kuin se täytyy pinnoittaa uudelleen. Alhaisella liiman viskositeetilla suositellaan käytettäväksi tiheää uritusta ettei liima karkaisi urista.<sup>85</sup>

Yleisin USA:ssa käytetty levitystelan kumin kovuus on 55 shorea. Suomessa levitystelosten kumin kovuus on yleisesti 60-70 shorea.<sup>86</sup>

<sup>82</sup> Pussi, s.117-118

<sup>83</sup> Pussi, s.117-118

<sup>84</sup> Padatsu, s.16, kuva 11

<sup>85</sup> Rinne, s.8

<sup>86</sup> Padatsu, s.18-19



malli	uria/ tuuma	e (mm)	a	b (mm)	c (mm)	d (mm)
Joensuu piir.nro 17-87F-66	16	1.59	55°	0.60	0.40	0.57
Heinola piir.nro 4-8231/c/	16	1.59	47°	0.40	0.40	0.84
Heinola piir.nro 4-7028 (terästela)	16	1.59	60°	0.40	0.34	0.55
Heinola piir.nro 4-6568	18	1.41	60°	0.40	0.43	0.61
Raute puolipyör. piir.nro 4R	16	1.59	47°	0.45	-	0.75
Raute puolipyör. piir.nro 4R410070	17	1.50	48°	0.45	-	0.65
Viiala	26	0.98	48°	0.35	0.25	0.20
Lahti	16	1.59	55°	0.35		0.30
Lahti	20	1.27	55°	0.40	0.30	0.55
Jyväskylä	16	1.59	48°			0.40
Savonlinna pyöreä r = 0.40	16	1.59	24°	0.35	0.90	
Kaukas	18	1.41		0.40		0.96
Pellos	20	1.27	55°	0.50	0.50	0.25

Kuva 29 Erilaisia uraprofiileja. Mittojen tunnukset viittaavat uraprofiilin leikkauskuvaan (kuva 28).<sup>87</sup>

		TIHEÄ URITUS		HARVA URITUS	
Viskositeetti	Puulaji	x g/m <sup>2</sup>	keskihajonta	x g/m <sup>2</sup>	keskihajonta
< 200 mPaS	koivu	151	7,3	157	8,9
n. 550 mPaS	koivu	149	6,2	153	11,0
n. 1500 mPaS	koivu	155	4,7	164	5,7
n. 550 mPaS	havu	161	6,2	157	9,6
			(x = 6,1)		(x = 8,8)

Kuva 30 Pienimuotoisen uritustutkimuksen tulokset.<sup>88</sup>

Schauman Woodilla tehdyssä tutkimuksessa testattiin kahden eri uraprofiilin levityksen tasaisuutta. Toinen profiileista oli tiheä (26 uraa/1") ja toinen harva (16 uraa/1"). Molempien kumien kovuus oli 65 shorea. 1,5 mm:n paksuista koivuviilua liimoitettiin kolmella eri viskositeettialueella (alle 200, 550, ja 1500 mPaS). Jokaiselle viskositeettialueelle säädettiin telan perusaste, joka pyrittiin säilyttämään liimoituksen ajan, seuraten viiluista ja viskositeetin vaihtelusta aiheutuvaa liimanlevityksen vaihtelua. Tiheä uritus oli parempi liimanlevityksen tasaisuuden kannalta liimattaessa koivuviilua (1,5 mm) eri viskositeettialueilla. Harvalla urituksella päästiin vastaavaan levityksen tasaisuuteen vasta korkeimmalla koetetulla viskositeettialueella tai paksua havuviilua liimattaessa. Valmiin liiman viskositeetin heilahduksia voitiin kompensoida siirtymällä tiheämpään uritukseen. Tiheämpi uritus ei ole niin viskositeettiherkkä kuin harva.<sup>89</sup>

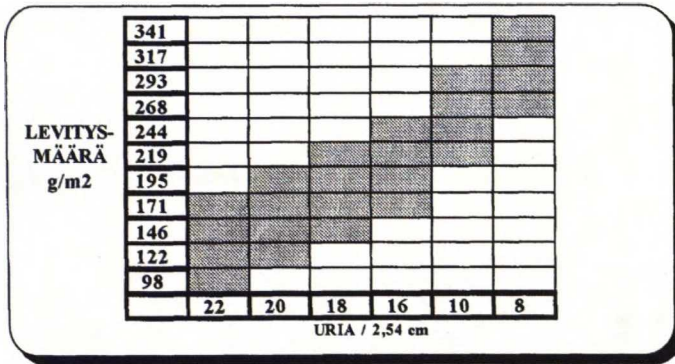
Niin USA:laisten kuin suomalaistenkin tutkimusten mukaan sopiva uratiheys levitystelalla on noin 20 uraa/1", kun levitysmäärät ovat 120-200 g/m<sup>2</sup>.<sup>90</sup>

<sup>87</sup> Padatsu, s.17, taulukko 3

<sup>88</sup> Padatsu, s.19, taulukko 5, Taavitsainen 1986

<sup>89</sup> Padatsu, s.18-19

<sup>90</sup> Padatsu, s.81-82



Kuva 31 Urien määrän vaikutus levitysmäärän säätöalueeseen eräillä uramalleilla ja liimoilla.<sup>91</sup>

Noin 48 gramman hartsimäärä (kuiva-ainetta) riittää muodostamaan vahvan liimasauman. Havulla hartsin tarve on hieman suurempi. Kuitenkin onnistuminen edellyttää sopivaa vesimäärää, jotta liimasauman kostuminen olisi hyvä. Koivuviilulle sopiva vesimäärä neliötä kohden on noin 80 grammaa, kun viilun kosteus on 3-5. Hartsia menee liimasaumaan liian paljon vain siksi, että kostuttamiseen tarvittavaa vettä saataisiin riittävästi.<sup>92</sup>

## 2.9. VIILUN KOSTEUS JA LAATU LOPPUTUOTTEEN KANNALTA

Hannosen diplomityön aihe oli prosessiolosuhteiden vaikutus vanerin käyristymiseen ja tuloksista pystytäänkin sanomaan, että vanerin käyristymisen ja kieroutumisen vähentämisessä kannattaa keskittyä kuivauksen parempaan hallintaan ja sen mukana viilun ja vaneriaihion kosteuden parempaan hallintaan.<sup>93</sup>

Koelevyinä käytettiin 6,5 ja 9 mm (5 ja 7 ply) paksuja koivuvanereita, sillä käyristyminen on suurempi ongelma ohuimmilla levyillä. Viilun kosteuden hajonta ja viiluerien väliset kosteuserot olivat suurimpia käyristymisen ja kieroutumisen aiheuttajia. Haudontaolosuhteista huomattiin, että vanerin suoruuden kannalta nykyinen noin 40 °C oli selvästi parempi kuin korkeampi 70 °C lämpötila. Korkeammassa lämpötilassa haudotuista pölleistä sorvattu viilu oli tosin poikittaisvetolujuudeltaan huomattavasti parempaa (noin 2,0 N/mm<sup>2</sup>) kuin normaalilämpötilassa haudotusta sorvattu (noin 1,5 N/mm<sup>2</sup>).<sup>94</sup>

Ohuilla levyillä, varsinkin parkettivanereilla, lujuus ei ole (käyttökohteesta riippuen) tärkein ominaisuus. Vanerin keskikosteuden nostaminen käyryyden välttämiseksi ei välttämättä kannata, vaan on pyrittävä valmistamaan vaneri sen hetkisten olosuhteiden edellyttämään keskikosteuteen. Eräänä voimakkaan

<sup>91</sup> Rinne, s.9, kuva 2.3 (Sellers, s.173, fig. 10-16)

<sup>92</sup> Padatsu, s.81-82

<sup>93</sup> Hannonen s.23, 113-114

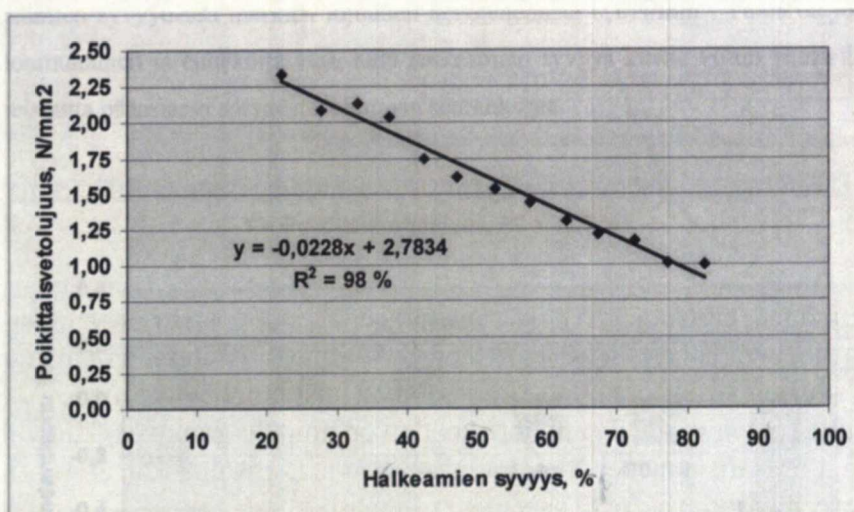
<sup>94</sup> Hannonen s.23, 113-114



Kasper Sokka

käyristymisen aiheuttajana olivat eri kosteuksiset pinnat verrattuna kuiviin keskimmäisiin ja liimaviiluihin.<sup>95</sup>

Korpijaakon diplomityön aihe oli koivuviilun lujuuteen vaikuttavat tekijät erityisesti raskaan kuljetusvälineiteollisuuden lattiavanereiden osalta.



Kuva 32 Poikittaisvetolujuuden ja sorvaushalkeamien syvyyden korrelaatio.<sup>96</sup>

Sillä kosteudella, johon viilu kuivauskoneessa kuivui, oli varsin vähäinen merkitys viilun poikittaisvetolujuuteen tai halkeamien syvyyteen. Kaikissa tapauksissa, joissa kosteus oli viilun lujuuden kannalta merkitsevä tekijä, oli kosteuden alenemisella lujuutta parantava vaikutus. Ennakkoon arvioitiin kuivausprosessin vaikuttavan siten, että erittäin kuivista viiluista löytyisi muita syvempiä halkeamia. Tulosten valossa halkeamien syvyys ei olennaisesti kasvanut kuivauksen aikana. Koeolosuhteet tosin olivat perusteelliseen kuivausprosessin tarkasteluun liian epävakaat: kuivauslinjaa pysäyteltiin jatkuvasti, joten kuivausaika ja -lämpötila eivät olleet kaikille näytteille samoja.<sup>97</sup>

Tarkasteltaessa viilun kuivauksen vaikutuksia lopputuotteisiin Hannosen ja Korpijaakon diplomitöiden perusteella, tulee muistaa lopullisen tuotteen asettamat vaatimukset viilun ominaisuuksille. Näissä tapauksissa ne ovat hyvinkin erilaisia, sillä onhan kyse kahdesta eri käyttökohteisiin menevästä tuoteryhmästä. Parkettivanereille on asetettu tarkat kosteustoleranssit ja rakenteissa saattaa olla useita eri paksuisia viiluja, ja ongelmana on käyristyminen: kuivan viilun loppukosteus ja sen jakauma on saatava pysymään lopputuotteen vaatimalla tasolla. Lattivanereissa taas lujuus, suurimmat taipumat tietyillä jänneväleillä ja pinnoitteen kulutuksen ja jyräyksen kestävyys ovat tärkeitä ominaisuuksia.

<sup>95</sup> Hannonen s.23, 113-114

<sup>96</sup> Korpijaakko s.52, kuva 20

<sup>97</sup> Korpijaakko s.85-86

Kasper Sokka

Ongelmana on tuotteen lujuusominaisuuksien vaihtelu: Viilun poikittaisvetolujuus ja sen vaihtelu on saatava pysymään lopputuotteen vaatimalla tasolla.<sup>98</sup>

Tuoteominaisuudet määrittävät viilun ominaisuudet ja kosteustason. Raaka-aineen, haudonnan, sorvauksen ja kuivauksen (myös välivarastoinnin) osalta nämä lopullisen tuotteen ominaisuudet vaativat eri olosuhteita, jos halutaan tuottaa lopputuotteille optimaalisesti sopivaa viilua.<sup>99</sup>

---

<sup>98</sup> Sokka s.54

<sup>99</sup> Sokka s.55



### 3. RAAKA-AINEEN JA PROSESSITEKIJÖIDEN VAIKUTUS KÄYRISTYMISEEN JA KIEROUTUMISEEN

#### 3.1. KÄYRISTYMISEN MÄÄRITELMÄ

Käyristyminen voidaan määritellä poikkeamaksi levyn tasosta. Teollisen tuotteen (vaneri) kyseessä ollessa käyryys voi olla lähtöisin tuotantovirheestä tai se voi kehittyä ajan myötä jälkikäteen lamellien muutoksien myötä tuotteen altistuessa ulkoisille olosuhteille. Hygroskooppinen käyristyminen puulamellituotteissa aiheutuu poikkileikkauspinnan epätasaisesta jännitys jakaumasta. Jännitys jakauman epätasaisuus johtuu kerrosrakenteen eroista, jotka estävät yksittäisten lamellien hygroskooppisen laajenemisen tai kutistumisen. Jos epätasapaino aiheutuu väliaikaisesta kosteusgradientista, käyristyminen voi kadota kun gradientti poistuu (transient warping – käyristyminen). Epätasapainon johtuessa kerrosten rakenne- tai paksuuseroista käyryys on pysyvä niin kauan kunnes sen aiheuttanut kosteuspitoisuuden muutos häviää (structural warping – rakenteellinen käyristyminen).<sup>100</sup>

Rakenteellinen käyristyminen on yleistä ja se on myös yksi häiritsevimmistä tekijöistä monella puuteollisuuden alalla. Puukerroslevyn taipumusta käyristyä on hankala mitata normaalein laadunvalvontatoimenpitein tuotantovaiheessa ja käyristymisen kerran tapahtuttua, on tilannetta hankala, ellei mahdotonta, korjata.<sup>101</sup>

Symmetristen puukerroslevyjen käyristyminen ei välttämättä ole yksittäinen tuotantovaiheen virheestä johtuva tapahtuma. Ennemmin se on käyttäymissääntö. Täysin stabiili levy on poikkeus. Riippuen käyryys jakauman muodosta osa käyristymisestä saattaa olla käyttökohteesta riippuen harmitonta, jopa täysin huomaamatonta.<sup>102</sup>

#### 3.2. VANERIN KOSTEUS

Sorvaushalkeamat, korkeat lämpötilat viilun kuivauksessa, korkea lämpö ja paine kuumapuristuksessa, ristiinladonta, liimatyypit, liiman suhteellinen osuus rakenteesta ja mahdolliset pintakäsittelyt muuttavat vanereiden kosteuskäyttäytymistä verrattuna massiivipuuhun.<sup>103</sup>

---

<sup>100</sup> Suchsland, s. 111-113, 117

<sup>101</sup> Suchsland, s. 111-113, 117

<sup>102</sup> Suchsland, s. 111-113, 117

<sup>103</sup> Absetz 1999, s.77-80

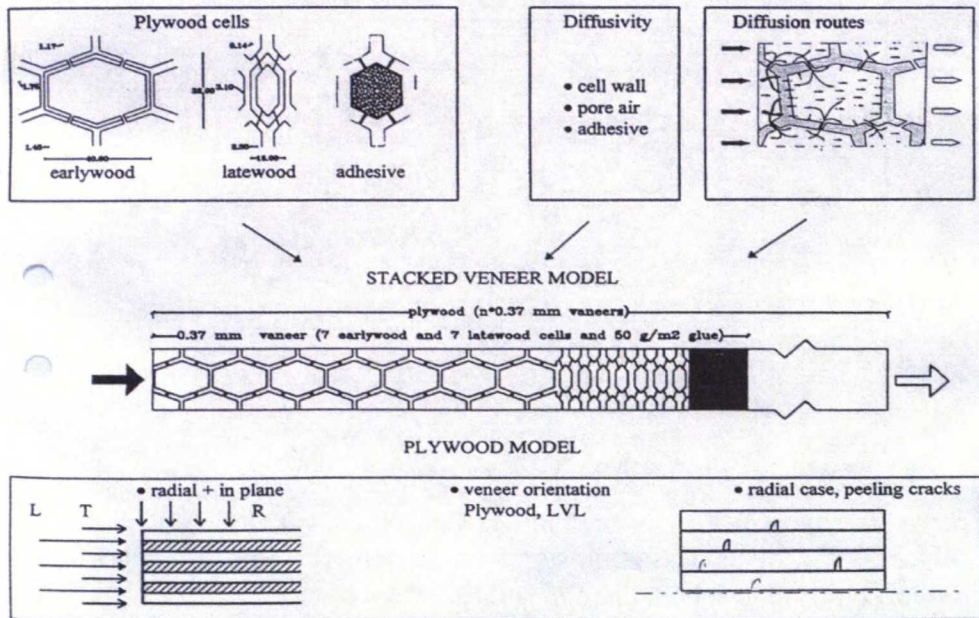


Figure 3 - Modeling path of wood and plywood moisture diffusion

Kuva 33 Massiivipuun ja vanerin kosteusdiffusion mallinnuspolku.<sup>104</sup>

Vanerin tasapainokosteus on selitettävissä sen osamateriaalien sorptiokäyttäytymisellä. Puun osalta nämä ovat selluloosa, hemiselluloosa, ligniini ja uuteaineet.<sup>105</sup>

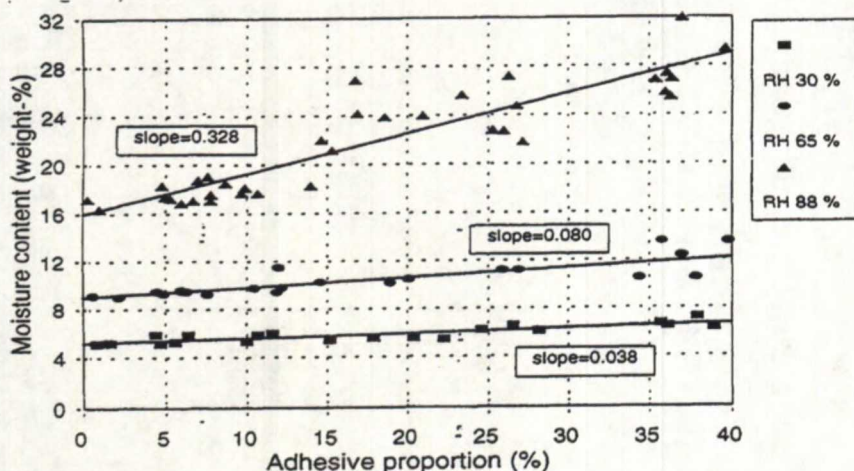
- Adsorption ja desorption välillä on selvä ero myös vanerilla.
- Viilujen tiheyden kasvaessa diffusiivisuus pienenee.
- Pituussuuntainen diffusiivisuus on selvästi suurempaa kuin poikittaissuuntainen, mutta sillä on suuri hajonta sorvaushalkeamien vaikutuksesta johtuen.
- Paksuuden vaikutus diffusiivisyyteen on vanerilla huomattava verrattuna massiivipuuhun.
- Vanerin diffusiivisuus on yleisesti ottaen pienempää kuin saman puulajin massiivipuulla.
- Liiman suhteellisen osuuden kasvaessa rakenteessa laskee diffusiivisuus.<sup>106</sup>

<sup>104</sup> Absetz 1996, s.2-489, fig. 3

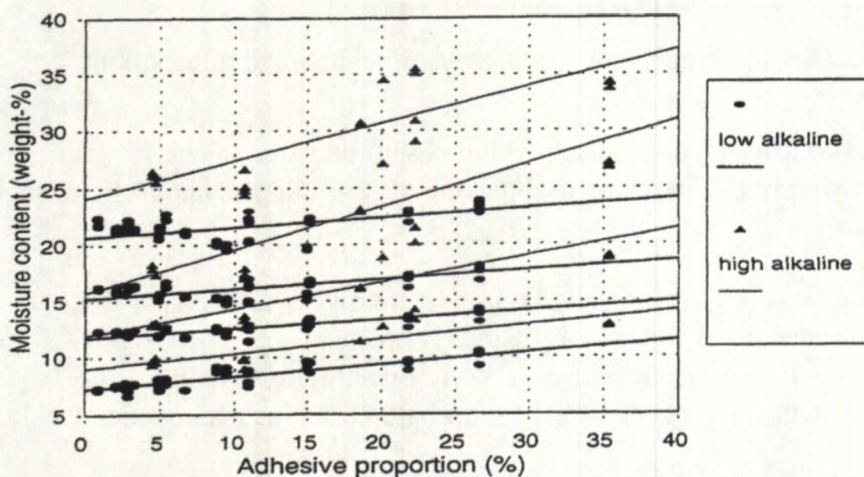
<sup>105</sup> Absetz 1999, s.77-80

<sup>106</sup> Absetz 1999, s.77-80





Kuva 34 Kuusi- ja koivuvanereiden kosteuspitoisuudet kolmessa ilman suhteellisessa kosteudessa (moisture content=kosteuspitoisuus, adhesive proportion=liiman suhteellinen määrä rakenteesta).<sup>107</sup>



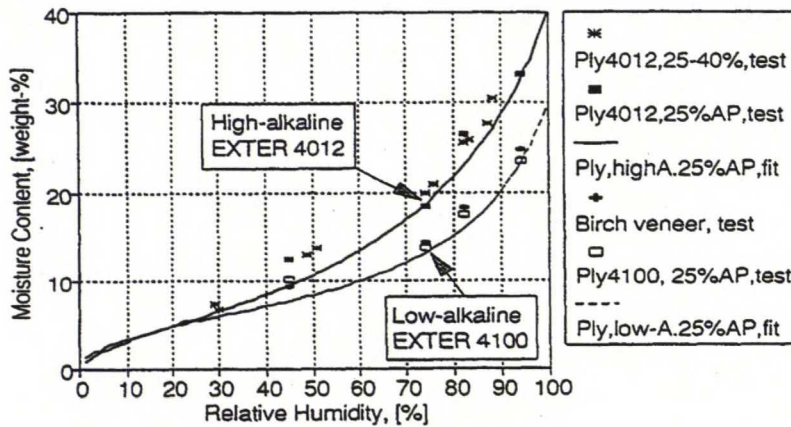
Kuva 35 Koevanereiden kosteuspitoisuuden riippuvuus liiman suhteellisesta määrästä rakenteessa pieni ja suuri alkalisella hartsilla.<sup>108</sup>

Tasapainokosteus nousee lineaarisesti liiman suhteellisen osuuden noustessa rakenteessa (fenoli-formaldehydiliiman hygroskooppisuus). Tasapainokosteuden nousu liiman suhteellisen osuuden noustessa tulee selvemmin esille korkeammissa ilman suhteellisissa kosteuksissa ja korkea-alkaalisilla hartseilla. Viilujen kuivaus ja vanerin kuumapuristus laskevat tasapainokosteutta johtuen korkeissa lämpötiloissa tapahtuvista kemiallisista muutoksista.<sup>109</sup>

<sup>107</sup> Absetz 1996/2, s.741, fig. 1

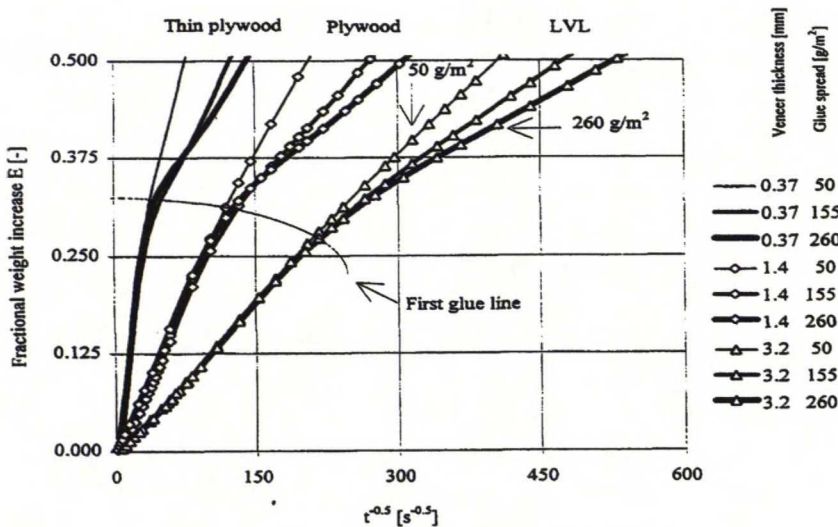
<sup>108</sup> Absetz 1996/2, s.742, fig. 2

<sup>109</sup> Absetz 1999, s.77-80



Kuva 36 Matala ja korkea-alkalisten hartsien vaikutus vanerin adsorptioon. Matala-alkalisilla liimaseoksilla kosteuspitoisuus on viilujen tasapainokosteutta pienempi. Erityisesti kosteissa olosuhteissa (korkea RH%) korkea-alkalisen vanerin adsorptio on selvästi viiluja korkeampaa.<sup>110</sup>

- Alhainen viilujen tiheys, viilujen paksuuden kasvu ja sorvaushalkeamat lisäävät diffusiivisuutta.
- Ikääntyminen vaihtelevissa ilmasto-olosuhteissa aiheuttaa vaneriin mikrohalkeamia, jotka lisäävät diffusiivisuutta.<sup>111</sup>



Kuva 37 Fraktionaaliset painon lisääntymiset ilman suhteellisen kosteuden noustessa 50RH%:sta 75RH%:iin. Ensimmäisessä liimasaumassa näkyy käänne piste; paksumpi liimasauma aiheuttaa jyrkemman muutoksen.<sup>112</sup>

<sup>110</sup> Absetz 1996/2, s.743, fig. 3

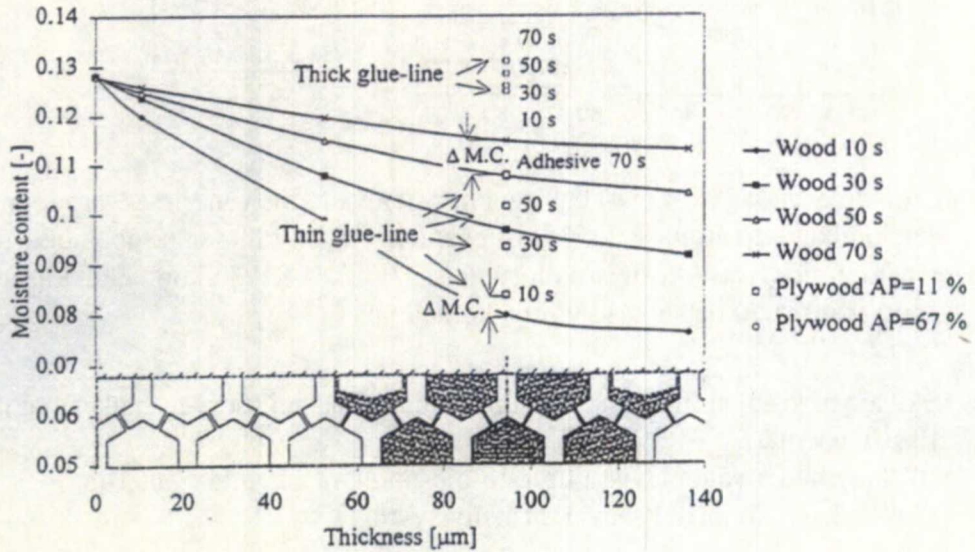
<sup>111</sup> Absetz 1999, s.77-80

<sup>112</sup> Absetz 1996/3, s.575, fig. 3



Kasper Sokka

Kosteusdiffuusio radiaalisuunnassa muistuttaa vanerilla massiivipuuta, kunnes kosteusrintama saavuttaa ensimmäisen liimasauman. Liimasaumoilla on kosteuden liikkeitä viivästyttävä vaikutus, koska kokonaisia soluonteloita täyttyy hygroskooppisella liimalla. Liimaisella vyöhykkeellä (50-200  $\mu\text{m}$ ) ei ole yhtäjaksoista vapaata diffuusiokanavaa (continuous fast cell air space diffusion route).<sup>113</sup>



Kuva 38 Yhtenäiset käyrät esittävät kosteuden jakautumista kesäpuussa ajanhetkillä 10-70 s suhteellisen kosteuden muutoksen jälkeen. Erilliset merkit esittävät paikallisen kosteuspitoisuuden liimantäyttämässä soluissa (94,5  $\mu\text{m}$ ).<sup>114</sup>

Viilukerroksien reunoissa pituussuuntaisesti tapahtuva nopea diffuusio saattaa olla tasonsuunnassa merkittävää. Pitkät putkisolut ja yhtäjaksoiset sorvaushalkeamat muodostavat nopean diffuusioreitin.<sup>115</sup>

Koekappaleiden paksuuden kasvun on havaittu myös viiluilla ja vanerilla nopeuttavan sorptiota ja nostavan diffusiivisyyttä.<sup>116</sup>

Ristiinladonta ei vaikuta puhtaasti radiaaliseen diffuusioon, mutta se on huomionarvoinen seikka tarkasteltaessa suojaamattomien reunojen kosteuskäyttäytymistä. Juuri suuret erot pitkittäisissä ja radiaalisissa diffuusiokertoimissa aiheuttavat nopean diffuusiiovasteen vanereiden reunavyöhykkeellä noin 200 mm matkalla.<sup>117</sup>

<sup>113</sup> Absetz 1999, s.62

<sup>114</sup> Absetz 1996/3, s.574, fig. 2

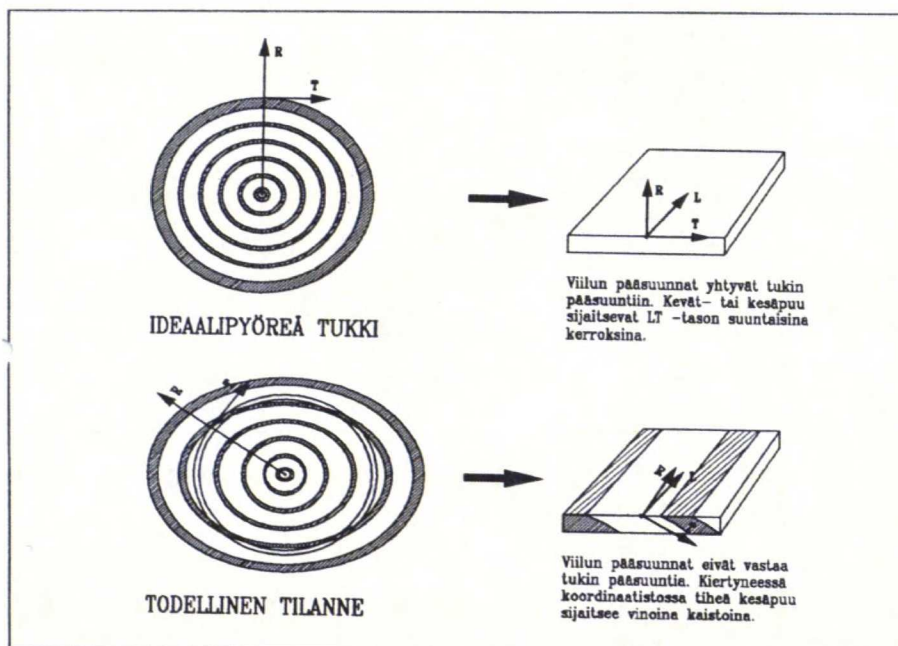
<sup>115</sup> Absetz 1999, s.62

<sup>116</sup> Absetz 1999, s.62

<sup>117</sup> Absetz 1999, s.71

Tuotantoprosessissa puun fysikaalisessa ja kemiallisessa rakenteessa tapahtuu muutoksia, jotka vaikuttavat valmiin tuotteen eli vanerin tasapainokosteuteen ja diffuusiokäyttäytymiseen. Vanereissa liima-aine on jo sinänsä uusi osamateriaali. Liimasaumamat muodostavat osittaisia kosteussulkuja viilukerrosten väliin. Viilujen kuivaus ja kuumapuristus hajottavat hemiselluloosaa, mikä edelleen laskee tasapainokosteutta. Kova paine kuumapuristuksen aikana nostaa tiheyttä ja sorvaushalkeamat toimivat kosteudensiirtymäreitteinä. Kaikki tämä johtaa suureen hajontaan ja tuoteriippuvaisiin tasapainokosteuksiin verrattuna massiivipuuhun. Lisäksi ikääntyminen vaihtelevissa ilmasto-olosuhteissa aiheuttaa vaneriin mikrohalkeamia, jotka lisäävät diffuusiokykyä.<sup>118</sup>

### 3.3. VANERIN KOSTEUDEN VAIKUTUS KÄYRISTYKSEEN



Kuva 39 Tukin sorvauksen vaikutus syysuuntaan.<sup>119</sup>

Puu kutistuu kuivuessaan puun syiden kyllästymispisteen alapuolelle. Kutistumisen suuruuteen vaikuttavat useat eri tekijät, kuten kosteuden muutos, puun rakenteen suunta (tangentin, säteen tai syiden suunta), tiheys ja puulaji (solukkorakenne, kesäpuuosuus). Puun muodonmuutosominaisuudet ovat erilaiset eri suunnissa. Puun tangentin suuntainen kosteusmuodonmuutos on puulajista riippuen 6-12 % puun kuivuessa 30 %:n kosteudesta kuivaksi. Säteen suuntainen kosteuseläminen on 3-7 % ja syiden suuntainen 0,3-0,6 %.<sup>120</sup>

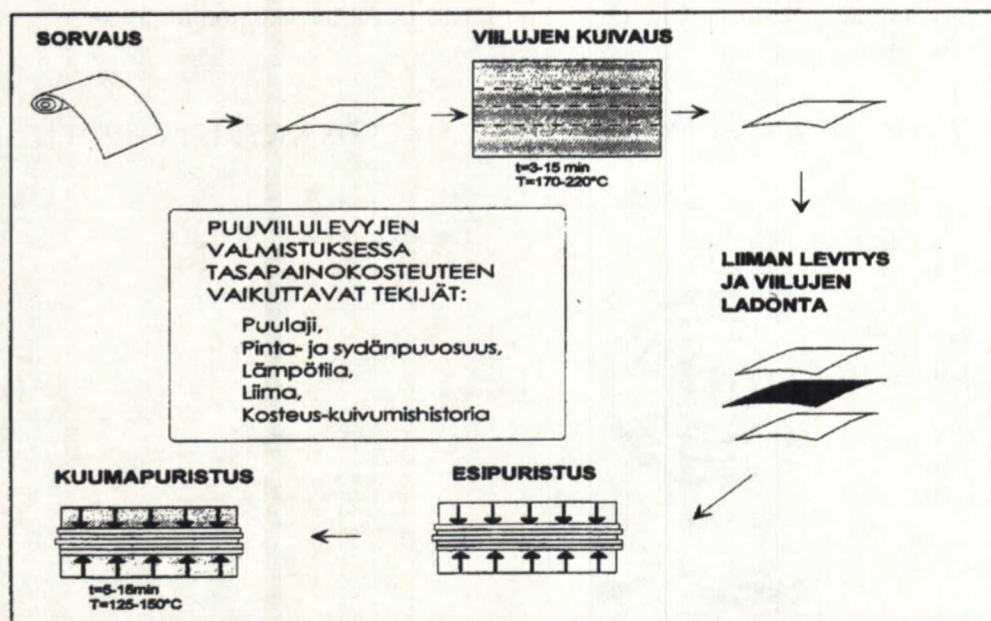
<sup>118</sup> Absetz 1999, s.68-69

<sup>119</sup> Talaskivi, s.48, kuva 5.2

<sup>120</sup> Lehtinen 1996, s.30



Pientä syiden suuntaista kutistumista on selitetty yksittäisen solun rakenteella, jossa yhdensuuntaiset turpoamattomat ja lujat mikrofibrillit rajoittavat pituussuuntaisia muodonmuutoksia. Solurakenteen lisäksi pituussuuntaiseen kutistumaan vaikuttaa tiheys sekä kevät- ja kesäpuun turpoamien erilaisuus. Säteen ja tangentin suuntaisten kutistumien eroista on esitetty eri teorioita, joissa tarkastellaan puun solukoiden erilaisuutta, soluseinämän mikrofibrillikulmia ja soluseinämän paksuuseroja sekä välilamellien määrää eri suunnissa.<sup>121</sup>



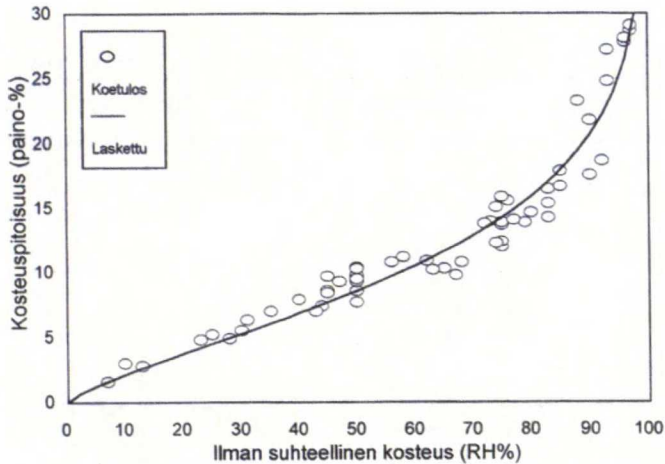
Kuva 40 Periaatekuva puuviilulevyjen valmistusvaiheista, jotka vaikuttavat valmiin levyn tasapainokosteuteen.<sup>122</sup>

Kosteuspitoisuuden muutokset aiheuttavat puuviilulevyihin muodonmuutoksia ja käyritystä. Myös levyjen mekaaniset ominaisuudet (lujuudet, kimmo- ja liukukertoimet sekä Poissonin vakio) ovat riippuvaisia kosteudesta. Jotta voitaisiin tarkastella puuviilulevyjen muodonmuutoksia, käyritystä ja mekaanisia ominaisuuksia, tarvitaan tietoa ilman suhteellisen kosteuden ja materiaalin kosteuspitoisuuden välisestä riippuvuudesta. Materiaalien sorptiokäyttäytymisen tunteminen on oleellista myös kosteuslaskennassa.<sup>123</sup>

<sup>121</sup> Lehtinen 1996, s.30

<sup>122</sup> Lehtinen 1997, s.19, kuva 5

<sup>123</sup> Lehtinen 1997, s.14



Kuva 41 Koivuvanerin keskimääräinen tasapainokosteus lämpötilassa 20°C.<sup>124</sup>

Puuviilulevyjen, vanerin ja kertopuun, kosteusteknisiin ja mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttavat voimakkaasti sekä niiden sen hetkinen kosteuspitoisuus että kosteushistoria. Kosteusvaihtelut aiheuttavat myös muodonmuutoksia ja levyjen käyristymistä. Puulevyt seuraavat ympäristöolosuhteiden kosteusvaihteluita viiveellä, jonka suuruus riippuu diffuusiokertoimen lisäksi levyjen kosteudensitominaisuuksista. Puulevyjen mekaanisen ja kosteusteknisen käyttäytymisen arvioinnin ja laskentamenetelmien kehittämisen perustaksi tarvitaan riittävän tarkka matemaattinen malli kuvaamaan sorptiokäyttäytymistä. Puulle käytettyjä sorptiomalleja voidaan soveltaa määrittämällä kokeellisesti tarvittavat mallitusparametrit kuvaamaan ilman suhteellisen kosteuden ja materiaalin kosteuspitoisuuden riippuvuutta.<sup>125</sup>

Puuviilulevyissä kosteusteknisiin ominaisuuksiin vaikuttavat puuviilun ominaisuuksien lisäksi valmistusprosessin korkeat lämpötilat viilujen kuivauksessa ja levyjen kuumapuristuksessa sekä käytettävä liima. Korkea lämpötila alentaa puuviilun sorptiokapasiteettia ja tasapainokosteutta. Suurin osa kosteuspitoisuuden alenemisesta johtuu oletettavasti kemiallisista muutoksista ja hemiselluloosan hajoamisesta korkeissa lämpötiloissa.<sup>126</sup>

### 3.4. PUUVIILULEVYJEN KÄYRISTYMINEN

Keskitasoonsa nähden symmetrinen vaneri ei käyristy tasan jakautuneesta kosteudesta. Kerrosten väliset erilaiset ominaisuudet aiheuttavat kuitenkin käyristymistä. Ominaisuuksien vaihtelu voi johtua puun luontaisista eroista, eri materiaalien käytöstä tai viiluissa olevista vioista.<sup>127</sup>

<sup>124</sup> Lehtinen 1997, s.32, kuva 16

<sup>125</sup> Lehtinen 1997, s.35

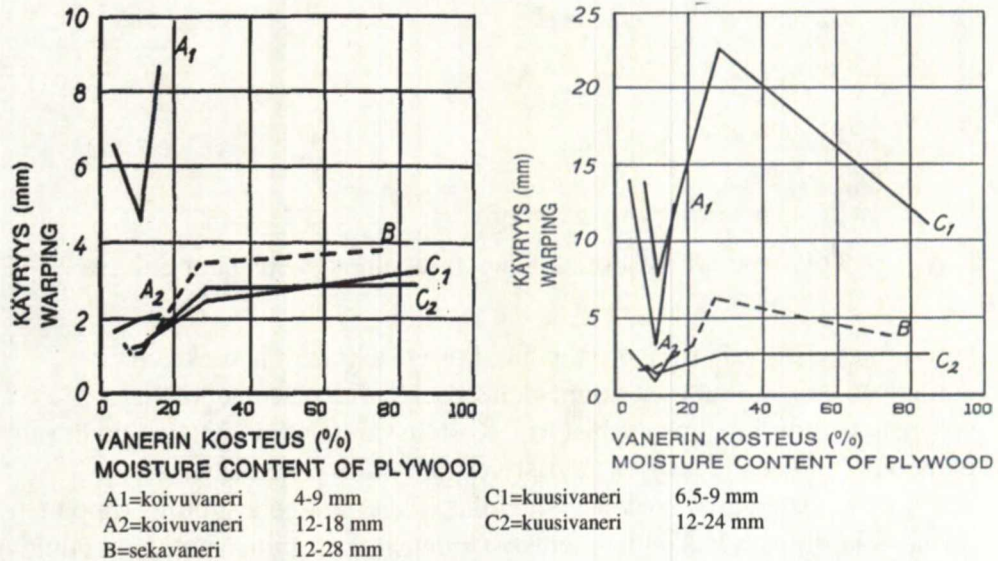
<sup>126</sup> Lehtinen 1997, s.35

<sup>127</sup> Lehtinen 1996, s.31



Kasper Sokka

Viilujen välinen materiaalivehtelu, suuri hajonta viilujen ominaisuuksissa, viiluissa olevat viat sekä viruminen vaikuttavat puuviilulevyjen muodonmuutosten ja käyrityksen suuruuteen. Eri kappaleiden muodonmuutosten ja käyritysten välinen hajonta on erittäin suuri, mitä ei voida laskennallisesti ottaa huomioon.<sup>128</sup>



Kuva 42 Vanerin käyrityminen pituus- (vasemmalla) ja leveyssuunnassa (oikealla) kosteuden funktiona. Vaneri käyristyy enemmän leveyssuunnassa.<sup>129</sup>

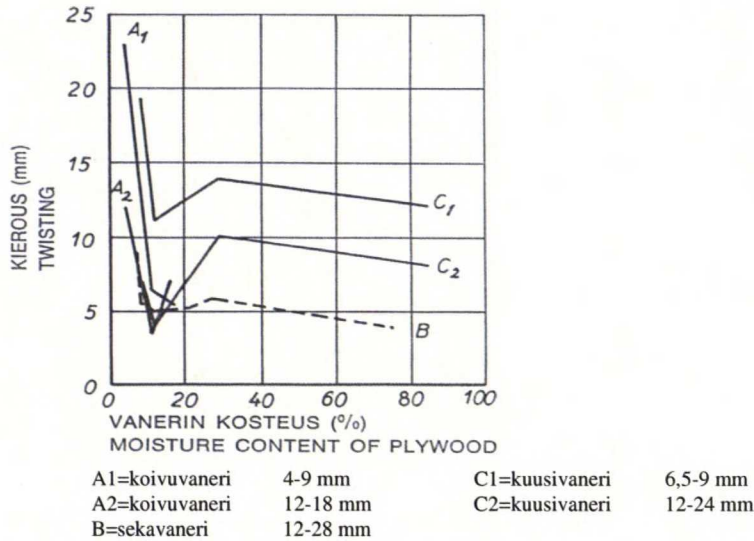
Vanerin leveyssuuntainen käyryys on huomattavasti suurempaa kuin pituussuuntainen ja ohuet vanerit käyristyvät ja kieroutuvat enemmän kuin paksut vanerit. Koivuvaneri kieroutuu ja käyristyy enemmän kuin seka- ja kuusivaneri.<sup>130</sup>

<sup>128</sup> Lehtinen 1996, s.31

<sup>129</sup> Kilpeläinen, s.710, kuvat 6 ja 7

<sup>130</sup> Kilpeläinen, s.710

Kasper Sokka



Kuva 43 Vanerin kierous kosteuden funktiona.<sup>131</sup>

Vanerien käyryydellä ja kieroudella on minimikohta kosteuden ollessa 9-11 %:n välillä. Tämä vastaa vanerin kosteutta kuumapuristimesta otettaessa. Tällöin levy on suorimmillaan; käyryys ja kierous suurenevat sitä enemmän mitä enemmän vanerin kosteus poikkeaa tästä kosteudesta.<sup>132</sup>

#### 3.4.1. Muodonmuutokset tason suuntaan

Leveys- ja pituussuunnissa muodonmuutoksiin vaikuttaa kerroksellinen rakenne, poikittais- ja pitkittäisviilujen erilaiset kimmokertoimet ja muodonmuutokset, sekä kimmokertoimien ja muodonmuutuskertoimien riippuvuus kosteuspitoisuudesta. Tämän takia kosteus-muodonmuutos -riippuvuus ei ole lineaarinen vaan suhteellinen muodonmuutos on pienempi suurilla kosteuspitoisuuksilla (yli 15 %). Tasonsuuntaiset muodonmuutokset aiheuttavat levyjen käyristymistä.<sup>133</sup>

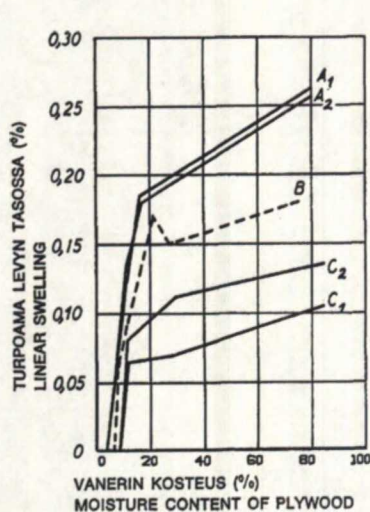
<sup>131</sup> Kilpeläinen, s.710, kuva 8

<sup>132</sup> Kilpeläinen, s.710

<sup>133</sup> Lehtinen 1996, s.15-16

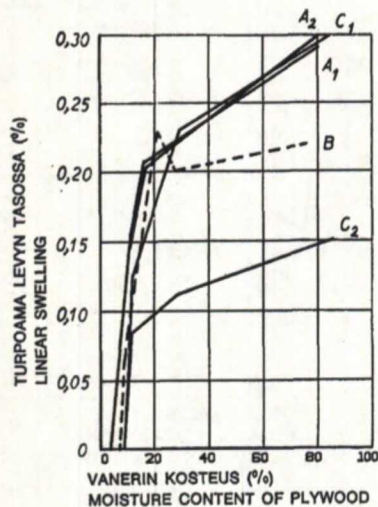


Kasper Sokka



Kuva 4. Vanerin turpoaminen pituussuunnassa kosteuden funktiona.

A1=koivuvaneri 4-9 mm  
 A2=koivuvaneri 12-18 mm  
 B=sekavaneri 12-28 mm



Kuva 5. Vanerin turpoaminen leveyssuunnassa kosteuden funktiona.

C1=kuusivaneri 6,5-9 mm  
 C2=kuusivaneri 12-24 mm

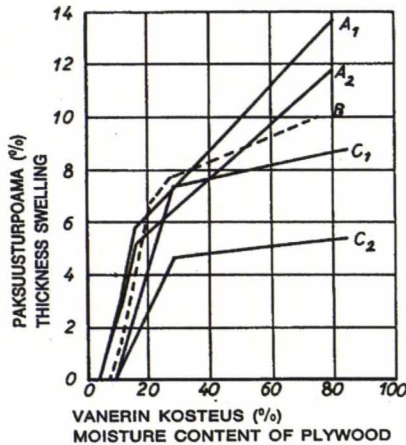
Kuva 44 Vanerin turpoaminen pituus- ja leveyssuunnassa kosteuden funktiona.<sup>134</sup>

Vanerin tason suuntaista turpoamista laskettaessa on tarkasteltava yksittäisiä viiluja ja niiden turpoamista. Viilun pituussuuntaa voidaan pitää samana kuin puun syiden pituussuuntaa ja viilun leveyssuuntaa massiivipuun tangentin suuntana. Viilun turpoaminen leveyssuunnassa on moninkertaista verrattuna sen pituusturpoamiseen. Ristiinviilutetussa vanerissa vanerin tason suuntainen turpoaminen riippuu viilujen pituus- ja leveyssuuntaisen turpoamisen yhteisvaikutuksesta. Pituussuuntaiset viilut estävät poikkisuuntaisten viilujen turpoamista. Turpoamista hillitsevän vaikutuksen suuruus riippuu viilujen kimmokertoimien suhteesta.<sup>135</sup>

<sup>134</sup> Kilpeläinen, s.709, kuvat 4 ja 5

<sup>135</sup> Lehtinen 1996, s.15-16

## 3.4.2. Levyjen paksuusturpoama



Kuva 2. Vanerin paksuusturpoama kosteuden funktiona.

A<sub>1</sub> hoivuvaneri 4—9 mm  
 A<sub>2</sub> hoivuvaneri 12—18 mm  
 B sehavaneri 12—28 mm  
 C<sub>1</sub> kuusivaneri 6,5—9 mm  
 C<sub>2</sub> kuusivaneri 12—24 mm

Kuva 45 Vanerin paksuusturpoama kosteuden funktiona.<sup>136</sup>

Paksuussuunnassa vanerien ja kertopuun muodonmuutosten ja kosteuspitoisuuden välinen riippuvuus on likipitään lineaarinen. Muodonmuutokset ovat ensimmäisen kostutuksen aikana selkeästi suurempia kuin seuraavissa kosteusvaihteluissa, koska valmistuksessa puristunut solukko palautuu osittain ensimmäisessä kostutuksessa. Ensimmäisen kostutuksen jälkeen levyt eivät palaudu alkuperäisiin mittoihin, vaan rakenteisiin jää pysyviä paksuusmuodonmuutoksia. Pysyvän muodonmuutoksen suuruus riippuu korkeimman kosteuspitoisuuden arvosta siten, että mitä korkeampi kosteus on, sitä suurempi on palautuma. Koska kappaleen tilavuus pyrkii kuitenkin pysymään likipitään samana, myös leveys- ja pituussuuntaiset mitat muuttuvat. Ohut vaneri turpoaa paksuussuunnassa enemmän kuin paksu vaneri, koska kuumapuristuksessa syntyvä suhteellinen kokoonpuristuma on suurempi ohuilla vanereilla ja sitä suurempi mitä ohuempia viiluja vanerissa on.<sup>137</sup>

<sup>136</sup> Kilpeläinen, s.704, kuva 2

<sup>137</sup> Lehtinen 1996, s.12-13



#### 4. VANERIN KÄYRISTYMINEN –PROJEKTI

Tutkimuksen toteutus tapahtui yhteisprojektina VTT Rakennustekniikan ja TKK Talonrakennustekniikan kesken. Pääpaino VTT:n tutkimuksissa oli selvittää raaka-aineen ja valmistusprosessin vaikutusmahdollisuudet vanerin kosteuselämiseen. TKK puolestaan tutki vanerin käyristymistä valmistuksen jälkeen. Tutkimuksen alussa tehtiin kirjallisuuskatsaus, jonka jälkeen aloitettiin koelevyjen valmistus, tehdaskokeet ja tulosten analysointi. Lisäksi kehitettiin laskentamenetelmiä kieroutumisen ja käyristymisen laskentaan ja ennustamiseen.<sup>138</sup>

Tutkimuksessa rajoituttiin tarkastelemaan koivuvaneria, jonka paksuus oli 15 mm tai sitä ohuempaa.<sup>139</sup>

##### 4.1. KOEVANEREIDEN KOSTEUS KOKEIDEN ERI VAIHEISSA

###### 4.1.1. Kosteus ennen kuumapuristusta

Tasaisimmin kosteus oli jakautunut levyssä, jonka avoin aika (seisonta-aika ennen kuumapuristusta) oli lyhin eli noin 5 minuuttia. Tällöin kosteus ei ole vielä imeytynyt syvälle liimaviiluun ja siirtyy helpommin viereisiin kuiviin viiluihin.<sup>140</sup>

Esipuristuksessa viilut liimaantuvat toisiinsa eivätkä enää kuumapuristuksessa liiku toisiinsa nähden. Siten esipuristuksen jälkeen tapahtuvien kosteusmuutosten aiheuttamat dimensiomuutokset aikaansaavat jännityksiä viilukerrosten välille. Näiden jännitysten välttämiseksi ladelman kaikkien viilujen tulisi olla samalla kosteustasolla jo silloin kun ladelma esipuristetaan.<sup>141</sup>

###### 4.1.2. Valmiin vanerin kosteus

Itse kuumapuristuksen aikana levyjen reunoissa tapahtuva kosteuden haihtuminen ehtii vaikuttaa vain kapealla kaistaleella levyn reunassa. Jos viilujen välillä on kosteuseroja puristuksen alkaessa, pyrkivät nämä pienemään kuumapuristuksen aikana. Voimakkain kuivuminen tapahtuu, kun puristin avataan ja vanerin kuumat pinnat tulevat kosketuksiin ilman kanssa. Tällöin vanerissa oleva lämpö aiheuttaa haihtumisen pinnoilta. Tässä vaiheessa pinnan kosteus voi laskea 6-8 prosenttiyksikköä.<sup>142</sup>

---

<sup>138</sup> Koponen, S., s.2-3

<sup>139</sup> Koponen, S., s.2-3

<sup>140</sup> Söyriä, 2000, s.36, 38

<sup>141</sup> Söyriä, 2000, s.36, 38

<sup>142</sup> Söyriä, 2000, s.36, 38, liite 1, Hanhijärvi Antti, (6-7/7)

Välittömästi kuumapuristuksen jälkeen mitattiin tehdaslevyn pintaviilun kosteudeksi 4% ja seuraavan viilukerroksen kosteudeksi 6-9%. Keskiosan kosteus ei ehdi muuttua. Kun vaneri pinkataan alkaa kosteus tasaantua pinnan ja keskiosan välillä uudelleen, jolloin pinnan kosteus nousee ja keskiosan hieman laskee. Laskelmien mukaan noin tunnin seisotuksen jälkeen pinkassa kosteuserot ovat lähes tasaantuneet. Vanerin lämpötila pinkassa laskee hyvin hitaasti, mikä nopeuttaa kosteuden tasaantumista. Laskelmien mukaan vanerin lämpötila pinkan keskellä laski tunnin aikana vain noin 5°C.<sup>143</sup>

Käyristymisen ja kieroutumisen kannalta voidaan laskelmien perusteella sanoa seuraavaa:

- Pinkassa seisotuksen jälkeen vanereissa ei ole käytännössä kosteusgradienttia. Jos pinkka on jäähtynyt kunnolla ennen kuin yksittäiset levyt otetaan sieltä pois, ei gradienttia pitäisi olla. Kuitenkin, jos levyt otetaan pinkasta pois ennen kuin ne ovat jäähtyneet, niihin voi nopeasti syntyä suuriakin kosteusgradientteja pinnalta tapahtuvan nopean haihtumisen vuoksi.
- Kuumapuristuksen jälkeen levyt on pinkattava välittömästi. Kuuma pinta kuivuu nopeasti ja varsinkin, jos vain toinen puoli on kosketuksissa ilmaan, voi epäsymmetrinen kuivuminen aiheuttaa muodonmuutoksia.<sup>144</sup>

#### 4.2. KIMMOKERTOIMIEN, VINOSYISYYDEN, KOSTEUSMUODONMUUTOSKERTOIMIEN JA VIILUN PAKSUUDEN VAIHTELUN VAIKUTUS KÄYRISTYMISEEN

##### 4.2.1. Laskennalliset tarkastelut

Laskennallisia analyysejä tehtiin kahdella elementtiohjelmalla (KUPPI 1 ja NISA). Monte Carlo –simulaatioilla tutkittiin kimmokertoimien, kosteudenmuodonmuutuskertoimien, vinosyisyyden ja pintaviilun paksuuden satunnaista vaihtelua.<sup>145</sup>

#### Kuppi (käyrä)

Vanerilevy taipuu kuppimuotoon viilujen materiaaliominaisuuksien vaihtelun tai levyssä olevan kosteusjakauman vuoksi. Kuppimuodossa kaikki levyn nurkat ovat taipuneet samaan suuntaan. Kuvassa 46 on esitetty NISA -laskennan z-suuntaiset siirtymät, joista muodostuu kuppipinta. Laskennassa kuormituksena olivat momentit syysuuntaan (x-suunta) ja syitä vastaan (y-suunta). Momentit vastasivat levyn paksuussuuntaisen kosteusjakauman aiheuttamaa kuormitusta, kun muodonmuutokset on täysin estetty. Muoto on saatu aikaan pienentämällä yläpinnan pintaviilun kaikkia kimmokertoimia 10 % sekä pienentämällä alapinnan

---

<sup>143</sup> Söyriä, 2000, s.36, 38, liite 1, Hanhijärvi Antti, (6-7/7)

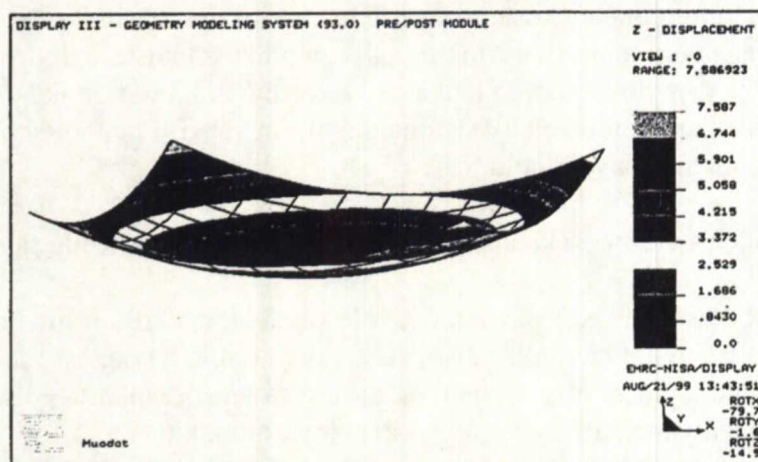
<sup>144</sup> Söyriä, 2000, s.36, 38, liite 1, Hanhijärvi Antti, (6-7/7)

<sup>145</sup> Koponen, S., s.73-75



Kasper Sokka

pintaviilun syysuuntaista (x-suunta) kimmokerrointa 20%. Kuormituksena mallissa oli 5%:n kosteuspitoisuuden muutos.<sup>146</sup>



**Kuva 3.2** Kuppimuoto (laskenta tehty NISAlla)

Kuva 46 Kuppimuoto, laskenta tehty NISA -ohjelmalla.<sup>147</sup>

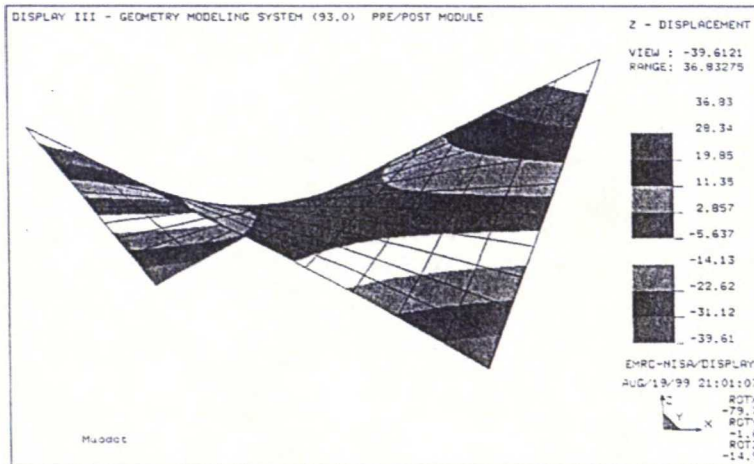
Vino satulapinta (kiero)

Vino satulapinta eli propelli muodostuu, kun vanerilevyssä esiintyy vinosyisyyttä. Vinossa satulapinnassa levyn kaksi vastakkaista nurkkaa taipuvat alaspäin ja toiset kaksi ylöspäin. Levyn sivut pysyvät suorina. Kuvan 47 vino satulapinta muodostui, kun toista pintaviilua käännettiin laskennassa  $+5^\circ$ . Tällöin muodostuu levyn paksuussuunnassa epäsymmetrinen rakenne.<sup>148</sup>

<sup>146</sup> Koponen, S. s.11-14

<sup>147</sup> Koponen, S. s.12, kuva 3.2

<sup>148</sup> Koponen, S. s.11-14



Kuva 3.3 Vino satulapinta

Kuva 47 Vino satulapinta.<sup>149</sup>

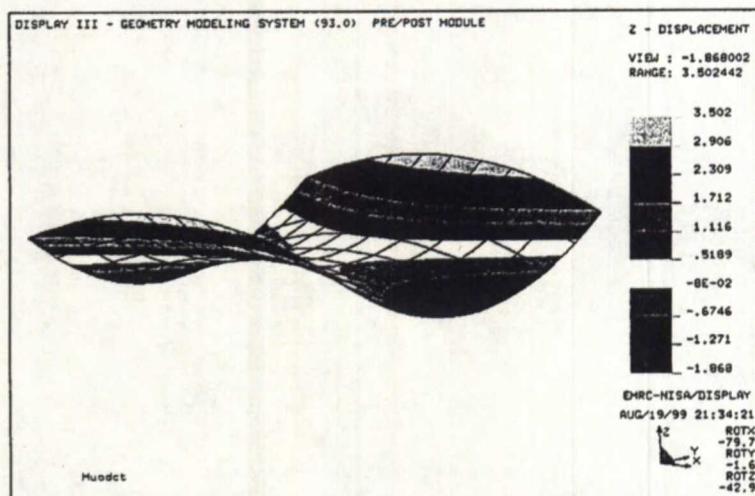
### Suora satulapinta

Suora satulapinta muodostuu materiaaliominaisuuksien tai viilunpaksuuden vaihtelun johdosta. Muutettaessa kimmokertoimia tai kosteusmuodonmuutoskertoimia sekä pituus- että poikkisuunnassa saatiin kuvan 48 mukainen pinta. Pinta on luotu pienentämällä toisen pintaviilun kaikkia kimmokertoimia 10%. Toisen pintaviilun paksuuden muuttaminen vastaa samaa ilmiötä. Suorassa satulapinnassa levyn vastakkaiset sivut ovat taipuneet samaan suuntaan ja vierekkäiset eri suuntiin.<sup>150</sup>

<sup>149</sup> Koponen, S. s.12, kuva 3.3

<sup>150</sup> Koponen, S. s.11-14



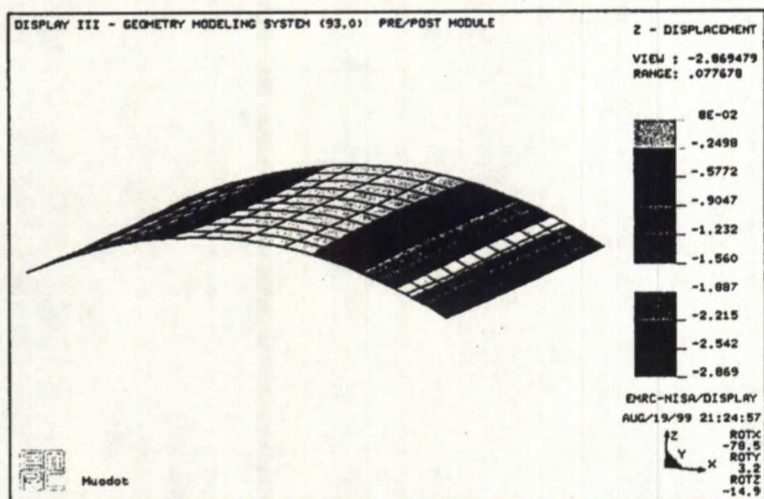


**Kuva 3.4** Suora satulapinta

Kuva 48 Suora satulapinta.<sup>151</sup>

### Sylinteripinta

Materiaaliominaisuuksien vaihtelu yhdessä suunnassa aiheuttaa kuvan 49 mukaisen sylinteripinnan. Sylinteripinnassa kaksi vastakkaista sivua ovat taipuneet ja toiset kaksi ovat suoria. Kuvan pinta on luotu pienentämällä toisen pintaviilun syiden suuntaista (x-suunta) kimmokerrointa 10 %.<sup>152</sup>



**Kuva 3.5** Sylinteripinta

Kuva 49 Sylinteripinta.<sup>153</sup>

<sup>151</sup> Koponen, S. s.13, kuva 3.4

<sup>152</sup> Koponen, S. s.11-14

<sup>153</sup> Koponen, S. s.14, kuva 3.5

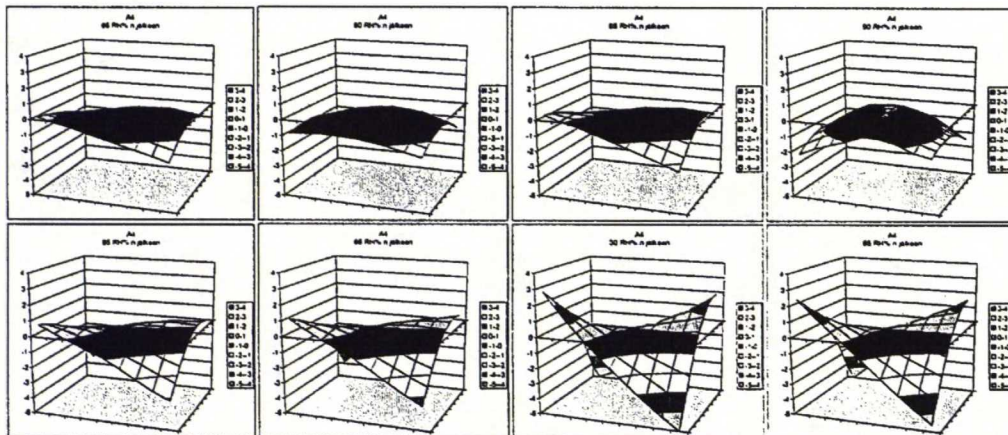
### 4.3. KOELEVYJEN MUODONMUUTOKSET LEVYJEN SEKÄ VIILUJEN KOSTEUDEN JA VINOSYISYYDEN VAIHDELLESSA

Koivuvanerin käyristymiseen ja kieroutumiseen vaikuttavia tekijöitä selvitetiin laboratorioissa tehdyillä sääsyklityskokeilla. Kokeissa tutkittiin

- I vaiheessa viilun kosteuden vaikutusta,
- II vaiheessa vinosyisyyden vaikutusta,
- III vaiheessa viilun laadun ja liimauksen vaikutusta ja
- IV vaiheessa viilujen suoristamisen vaikutusta

#### I vaiheen levyt

I vaiheen levyissä hallitseva muoto oli vino satula, joten hallitsevin muotoon vaikuttava tekijä oli viiluarkkien vinosyisyys. Viiluarkki on vinosyinen, kun sen puun syiden suunta poikkeaa arkin suorakulmaisesta geometriasta. Levyissä, joissa pintaviilu oli muuta levyä kosteampi toiselta puolelta (A levyt), oli kokeen alussa enemmän kuppimuotoja. Kuppimuoto voi johtua epätasaisesta kostumisesta tai materiaaliominaisuuksien vaihtelusta. Suurimmat muodonmuutokset syntyivät levyihin sääsyklityksessä kosteusvaihteluiden ääripäissä (90 ja 30 RH%). Kuvassa 50 on esitetty I vaiheen A-levyn muodonmuutokset sääsyklin aikana (65-80-65-90-30-65 RH%).<sup>154</sup>



Kuva 5.5 I vaiheen A-levyn kokonaismuodonmuutokset sääsyklin (65-80-65-90-65-30-65 RH%) aikana

Kuva 50 I vaiheen A-levyn kokonaismuodonmuutokset sääsyklin aikana.<sup>155</sup>

#### II vaiheen levyt

Levyissä, joiden viilujen vinosyisyys oli oikaistu, yleisin muoto oli sylinteri. Kuvassa 51 on esimerkki suoran levyn muodonmuutoksista sääsyklin (65-90-65-

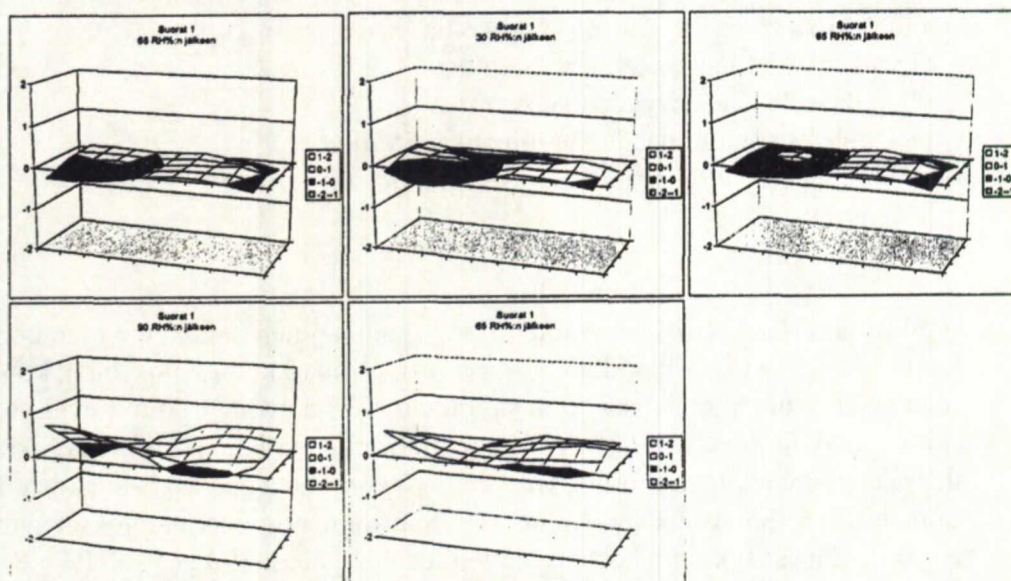
<sup>154</sup> Koponen, S. s.53-56

<sup>155</sup> Koponen, S. s.54, kuva 5.5



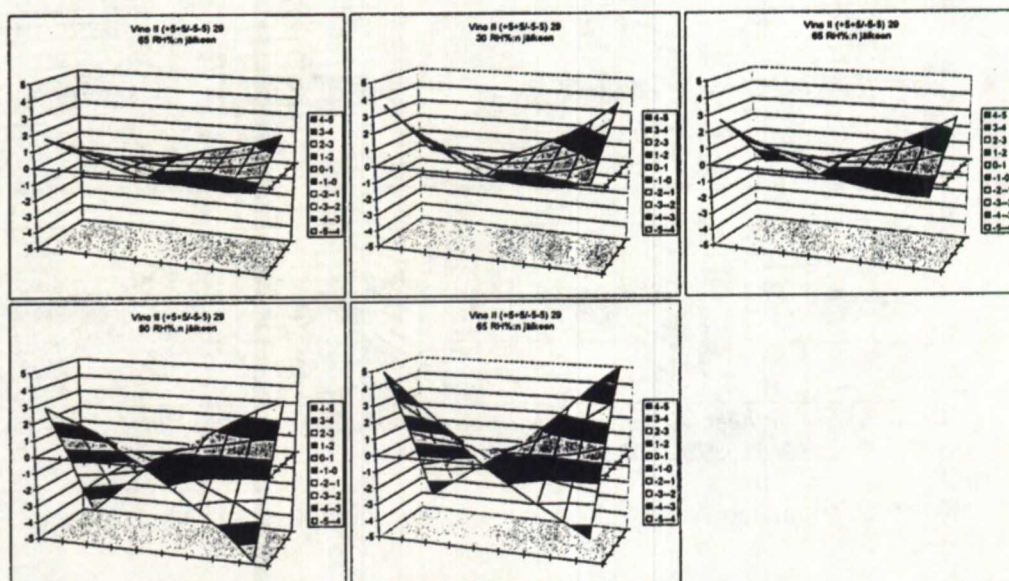
Kasper Sokka

30-65 RH%) aikana. Vinosyisistä viiluista valmistetut levyt olivat kaikki vinon satulapinnan muotoisia. Kuvassa 52 on esitetty vinoviilulevyn muodonmuutokset sääsyklinyksessä (65-90-65-30-65 RH%).<sup>156</sup>



Kuva 5.6 II vaiheen suoran levyn kokonaismuodonmuutokset sääsyklin (65-90-65-30-65 RH%) aikana

Kuva 51 II vaiheen suoran levyn kokonaismuodonmuutokset sääsyklin aikana.<sup>157</sup>



Kuva 5.7 II vaiheen vinoviilulevyn kokonaismuodonmuutokset sääsyklin (65-90-65-30-65 RH%) aikana

Kuva 52 II vaiheen vinoviilulevyn kokonaismuodonmuutokset sääsyklin aikana.<sup>158</sup>

<sup>156</sup> Koponen, S. s.53-56

<sup>157</sup> Koponen, S. s.55, kuva 5.6

## V vaiheen levyt

Oikaisemattomista viiluista valmistetuissa levyissä yleisin muoto oli vino satulapinta, joka aiheutuu viiluissa olevasta vinosyisyydestä. Levyissä, jotka olivat sylinterimuotoisia tai sekamuotoisia, vinosyisyys ei ollut hallitseva materiaaliominaisuus.<sup>159</sup>

### 4.4. VIILUJEN VINOSYISYYS

#### 4.4.1. Vinosyisyyden vaihtelu

Tutkimuksen II ja III vaiheissa VTT:n tekemien viilun repäisymittausten perusteella BB-laadun koivuviilujen vinosyisyyden keskiarvo on  $1,4^{\circ}$  ja keskihajonta  $1,06^{\circ}$ . Pintaviilulaadun S vinosyisyys oli  $0,06^{\circ}$  ja keskihajonta  $1,49^{\circ}$ . Laadun PK (parempi keskimäinen) vinosyisyys oli  $1,88^{\circ}$  ja keskihajonta  $1,35^{\circ}$ . Schauman Woodin Kuopion tehtaalla tehdyissä mittauksissa keskeltä pölliä sorvattujen viilujen vinosyisyyden keskiarvo oli  $0,74^{\circ}$  ja keskihajonta  $2,63^{\circ}$ . Pinnasta sorvattujen viilujen vinosyisyys oli  $-0,77^{\circ}$  ja keskihajonta  $3,59^{\circ}$ . Pienin ja suurin (min  $-6,5^{\circ}$ /max  $9,5^{\circ}$ ) vinosyisyys mitattiin pinnasta sorvatulle viilulle. Havaittiin, että suorasyistä, itseisarvoltaan alle  $1^{\circ}$  viilua on vain 20% materiaalista. Lähes 20%:ssa viiluista taas vinosyisyys on yli  $4^{\circ}$ .<sup>160</sup>

Läheltä pintaa sorvatun viilun vinosyisyyden itseisarvojen keskiarvo on suurempi kuin keskeltä sorvattujen viilujen. Lisäksi pinnassa vinosyisyyden vaihtelu on suurempaa kuin keskellä.<sup>161</sup>

Pienimmät keskimääräiset kieroutumiset saavutettiin rakenteella, jossa pintaviilut olivat laatua BB ja keskiviilut laatua PK. Suurimmat keskimääräiset kieroutumiset taas syntyivät rakenteeseen, jossa pinnat olivat laatua S ja keskiviilut laatua PK. Eroavaisuudet keskimääräisissä kierouksissa johtuvat materiaalin vinosyisyyden hajonnasta. Vaikka S-laadun viiluissa on pienempi vinosyisyyden keskiarvo, syntyy siihen suurempia kierouksia sen suuren vinosyisyyden hajonnan vuoksi. Vinosyisyyden suuri vaihtelu levyjen (pinta)viiluissa kasvattaa kieroutumista.<sup>162</sup>

---

<sup>158</sup> Koponen, S. s.56, kuva 5.7

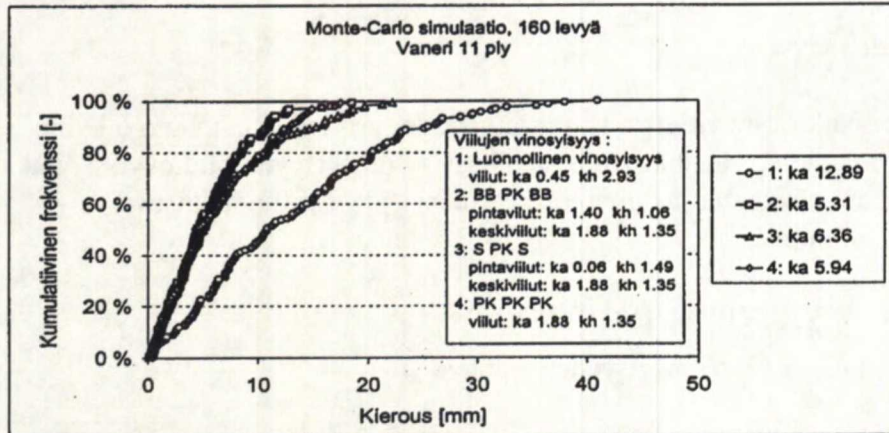
<sup>159</sup> Koponen, S., s.53-56

<sup>160</sup> Koponen, S., s.57-63

<sup>161</sup> Koponen, S. s.57-63

<sup>162</sup> Koponen, S. s.64-65, 68-69, 71

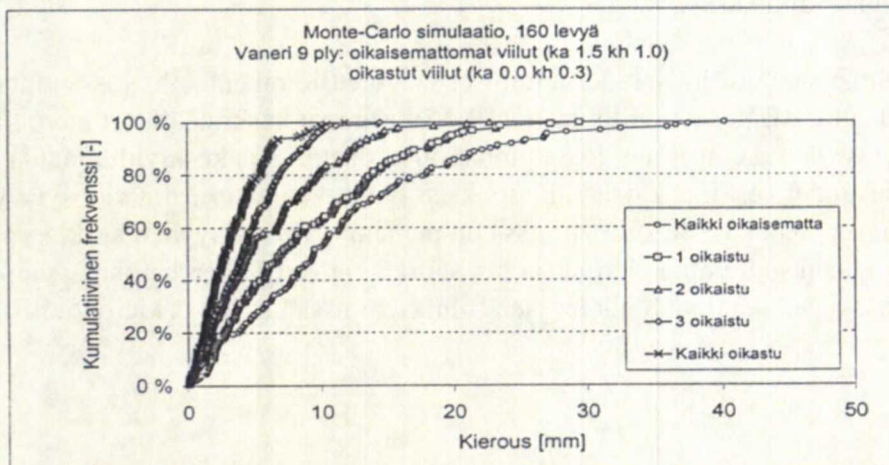




Kuva 5.25 Eri levytyyppien kierouksien vertailu

Kuva 53 Eri levytyyppien kierouksien vertailu.<sup>163</sup>

Kuvassa 53 nähdään luonnollisen vinosyisyysjakauman mukaisista viiluista valmistetun vanerin kieroutuvan laskennallisesti noin kaksi kertaa enemmän kuin normaalirakenteisten (lajitelluista viiluista valmistettu). Kuvissa 54 ja 55 on tarkasteltu teoreettisesti vinosyisyyttä oikaistaessa merkitsevien viilujen määrää. Oikaistujen viilujen vinosyisyyden keskiarvona oli  $0^\circ$  ja jäännöshajontana  $0,3^\circ$ . Kuvista nähdään kaikkien viilujen oikaistun pienentävän kierouden noin kolmannekseen. Kahden päällimmäisen viilun vinosyisyyden oikaisu pienentää kierouden puoleen.<sup>164</sup>



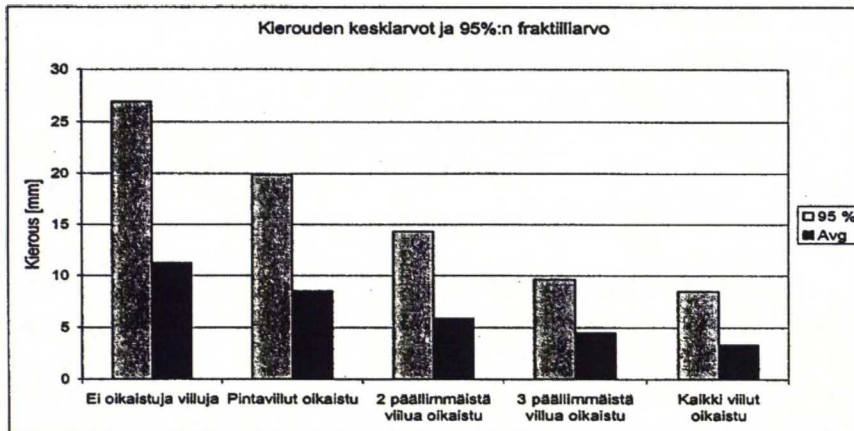
Kuva 5.26 Oikaistujen viilujen määrän merkitys

Kuva 54 Oikaistujen viilujen määrän merkitys.<sup>165</sup>

<sup>163</sup> Koponen, S. s.68, kuva 5.25

<sup>164</sup> Koponen, S. s.64-65, 68-69, 71

<sup>165</sup> Koponen, S. s.68, kuva 5.26



**Kuva 5.27** Oikaistujen viilujen määrän vaikutus keskimääräiseen kieroutumiseen ja 95 %:n fraktiiliarvoon

Kuva 55 Oikaistujen viilujen määrän merkitys keskimääräiseen kieroutumiseen ja 95 %:n fraktiiliarvoon.<sup>166</sup>

#### 4.5. YHTEENVETO

Kosteus ja sen vaihtelut vaikuttavat vanerin käyristymiseen ja kieroutumiseen ja nämä kosteusmuodonmuutokset alkavat jo ennen levyjen valmistusta. Viilujen alkukosteuden ja liimasta imeytyneen veden vaikutus näkyy esipuristuksen jälkeen, ennen kuumapuristusta.<sup>167</sup>

Jo 1-2 tunnin seisonta-ajan jälkeen esipuristettujen ladelmien viilujen kosteudet tasaantuvat pintaviiluja lukuunottamatta alueelle 10-12%. Esipuristuksen jälkeen ei levyjen lopullisiin muodonvääristymiin ilmeisesti voi paljoakaan vaikuttaa. Mahdollisimman suoran levyn valmistaminen edellyttää, että levyn viilut ovat tasakosteita ja suorasyisiä. Erityisen tärkeää tämä on pintaviilujen ja pintaa lähellä olevien viilujen osalta. Viilujen kosteuden mittamiseen ja hallintaan on jo olemassa luotettavia menetelmiä. Jos kosteuden hallinnan lisäksi viilujen vinosyisyys pystytään mittaamaan ja suorasyiset viilut lajittelemaan erilleen, osa vanereista voitaisiin valmistaa nykyistä suuremmiksi.<sup>168</sup>

Vanerin kieroutumista aiheuttavista tekijöistä selvin vaikutus oli kokeiden mukaan viilujen vinosyisyydellä. Monte Carlo –simulaation mukaan levyt kieroutuvat sitä enemmän mitä suurempaa on viilumateriaalin vinosyisyyden hajonta. Kieroutuminen kasvaa myös levypaksuuden pienentyessä.<sup>169</sup>

<sup>166</sup> Koponen, S. s.69, kuva 5.27

<sup>167</sup> Koponen, S., s.73-75

<sup>168</sup> Söyrlä, 2000, s.2

<sup>169</sup> Koponen, S., s.73-75



Kasper Sokka

Syysuuntaisen kimmokertoimen ja poikkisuuntaisen kosteusmuodonmuutoskertoimen vaihtelut aiheuttavat levyssä kasvavaa kuppiutumista. Syysuuntaisen kimmokertoimen vaihdella kuppiutuminen on voimakkaampaa suurissa ilman suhteellisissa kosteuksissa. Poikittaisen turpoamakertoimen vaihdella kuppiutuminen on puolestaan voimakkaampaa alhaisilla ilman suhteellisilla kosteuksilla.<sup>170</sup>

Pintaviilun paksuuden vaihtelu aiheuttaa käyritymien suurenemista. Pintaviilun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa käyritymä oli kuusinkertainen syiden suuntaiseen käyritymään verrattuna. Pintaviilun epätasainen hionta aiheuttaa saman ilmiön.<sup>171</sup>

Paikallista yhden viilun sisäistä materiaaliominaisuuksien ja vinosyisyyden vaihtelua ei laskennallisesti tarkasteltu. Kokeissa vaihtelu näkyi levyjen epätasaisena muotona.<sup>172</sup>

Oikaisemattomien tehdaslevyjen keskimääräinen kieroutuminen vastasi 3-5°:een vinosyisyyttä yhdessä pintaviilussa. Oikaisemalla viilujen vinosyisyys saatiin kierous pienenemään kolmasosaan.<sup>173</sup>

Vaihtelevissa kosteusolosuhteissa sekä käyryys että kierous pyrkivät lisääntymään. Vanerin nopea kuivuminen kasvattaa kieroutta voimakkaimmin.<sup>174</sup>

Kimmoteoriaan perustuvissa laskennallisissa tarkasteluissa vanerin muodonmuutokset ovat moninkertaisia kokeissa mitattuihin arvoihin verrattuna. Erityisesti korkeissa kosteuksissa puun viruma pienentää tehokkaasti kieroutumista ja käyritymistä.<sup>175</sup>

Valmiiksi kieroja levyä, jolla on voimakas taipumus kieroutua, on vaikea saada puristamalla tai lämpö- ja kosteuskäsittelyllä oikaistua suoraksi. Mikäli levy saataisiinkin suoraksi on sen suorana pysyminen vain tilapäistä.<sup>176</sup>

Projektin tutkimustuloksia on soveltuvien osien uudelleenanalysoitu lähemmin kappaleessa 5.

---

<sup>170</sup> Koponen, S., s.73-75

<sup>171</sup> Koponen, S., s.73-75

<sup>172</sup> Koponen, S., s.73-75

<sup>173</sup> Koponen, S., s.73-75

<sup>174</sup> Koponen, S., s.77-78

<sup>175</sup> Koponen, S., s.77-78

<sup>176</sup> Koponen, S., s.77-78

5. SUORITETUT TUTKIMUKSET, NIIDEN TULOKSET JA  
TILASTOLLISET ANALYYSIT

Tutkimus jakautui esitutkimuksiin, aikaisempien aiheesta tehtyjen tutkimusten tulosten uudelleenanalysointiin ja varsinaisiin tehdaskokeisiin.

5.1. ESITUTKIMUKSET

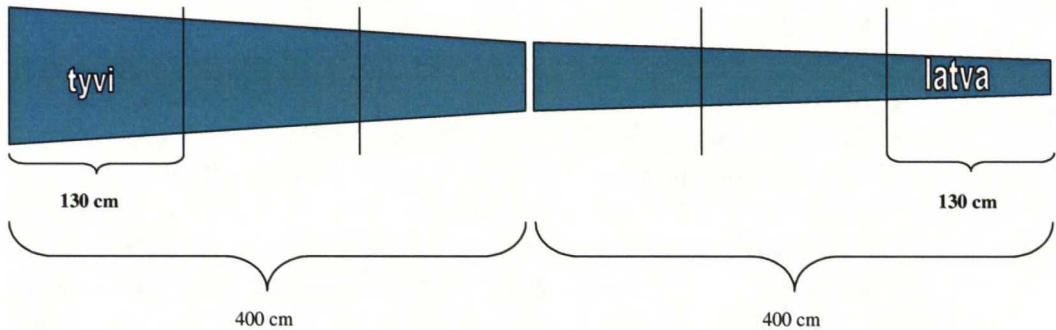
5.1.1. Vinosyisyys

Työn yhteydessä tehtiin selvitys kahden eri raaka-aineen mahdollisista vinosyisyyseroista. Vinosyisyyskokeen mittaustuloksia tarkasteltaessa etsittiin mahdollisia eroavaisuuksia kotimaisen ja venäläisen raaka-aineen välillä. Samalla saatiin vertailukelpoista aineistoa koivun vinosyisyyden keskiarvosta ja hajonnasta.

Taulukko 1 Vinosyisyys kokeen tukit

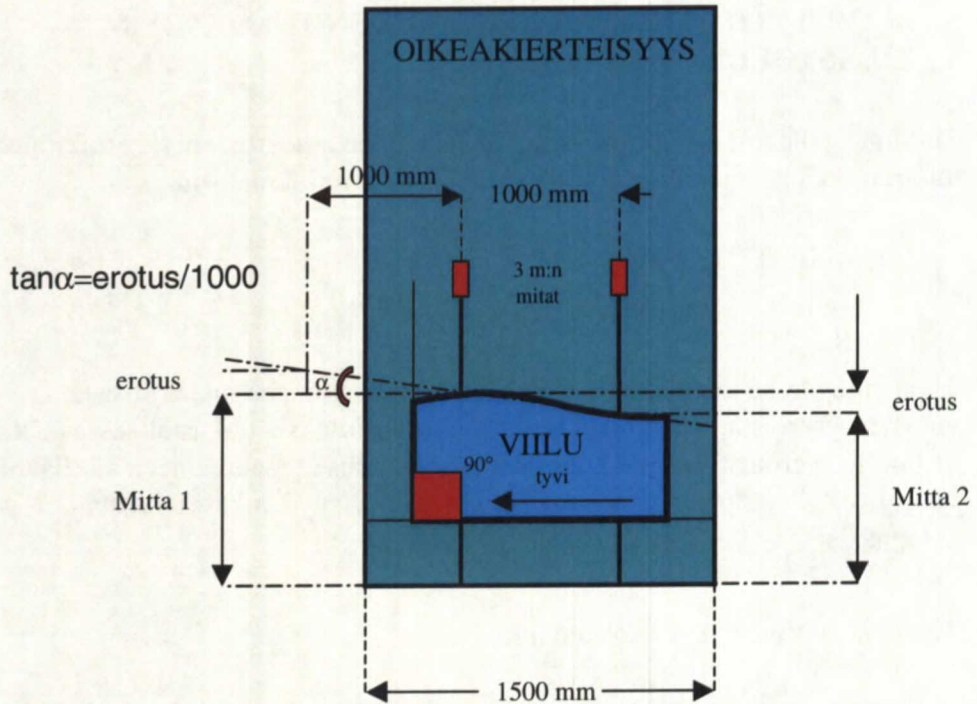
	FIN	RUS
tyvi	10 tukkia	10 tukkia
latva	10 tukkia	10 tukkia

Vinosyisyysmittauksia varten valittiin 10 tyvi- ja 10 latvatukkia sekä venäläistä että kotimaista puuta. Tukit katkaistiin kuvan mukaisesti. Latvatukeista otettiin 50'' koepölli latvan puolelta ja tyvitukeista otettiin 50'' koepölli tyven puolelta. Koepöllit sorvattiin 1,5 mm 1300x1300 mm<sup>2</sup> viiluarkkeiksi. Arkit laadutettiin käsin, jonka jälkeen kaikkien (noin 600 arkia) viiluarkkien vinosyisyys tutkittiin repäisymenetelmällä.



Kuva 56 Vinosyisyys kokeen tukkien katkaiseminen koepölleiksi.





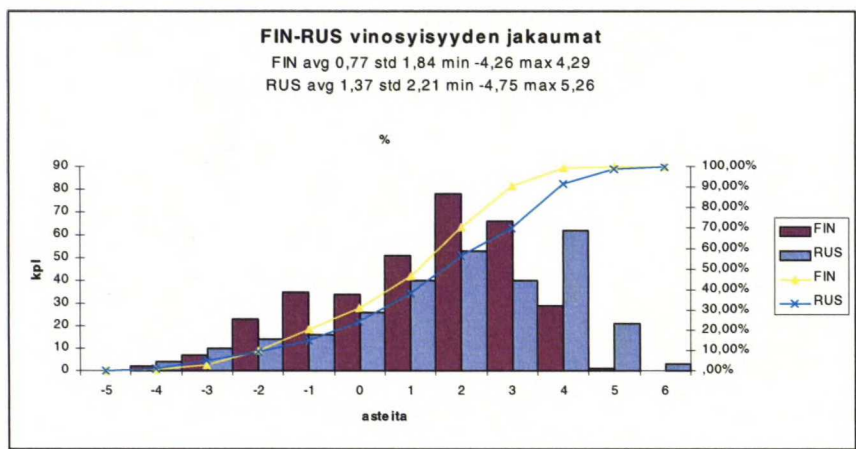
Kuva 57 Viiluarokkien mittaaminen repäisyn jälkeen.

Kuvassa 58 on esitetty venäläisen ja suomalaisen raaka-aineen vinosyisyyden jakaumat. Keskiarvoissa ja hajonnoissa on hieman eroa, mutta tilastollisessa analyysissä ei ryhmien välillä ollut merkittävää eroa. Kuvassa 59 on esitetty koko aineiston vinosyisyyden jakauma. Kaikkien viilujen vinosyisyyden keskiarvo oli  $1,05^\circ$  ja keskihajonta  $2,05^\circ$  (min  $-4,75^\circ$  ja max  $5,26^\circ$ ). Jos suorasyisyyden rajana pidetään  $1^\circ$ , niin suorasyisiä viiluista on noin 25 %. Noin 5 %:lla viiluista vinosyisyys on yli 4 astetta. Kyseessä ovat vinosyisyyden itseisarvot. Kaikkien viilujen vinosyisyys oli 99 %:sti alle 5 astetta.

Vanerin käyristyminen –projektin loppuraportin mittauksissa suorasyisiä viiluja oli noin 20 % ja viiluista noin 20 % oli vinosyisydeltään yli neljä astetta. Vinosyisyyden minimiarvo oli  $-6,5^\circ$  ja maksimiarvo  $9,5^\circ$ .<sup>177</sup> Vanerin käyristyminen –projektissa laskennassa käytetty 5 asteen vinosyisyys toisessa pintaviilussa ja erityisesti molemmissa pinnoissa yhtäaikaa eri suuntiin vaikuttaa tämän tutkimuksen mittaustulosten perusteella epätodennäköiseltä tilanteelta. Samassa tutkimuksessa todettiin, että oikaisemattomien tehdaslevyjen keskimääräinen kieroutuminen vastasi 3-5°:een vinosyisyyttä yhdessä pintaviilussa.<sup>178</sup> Jos tätä vertaa kuvassa 59 esitettyyn keskiarvoon ja hajontaan ( $1,05^\circ$  ja  $2,05^\circ$ , min  $-4,75^\circ$  ja max  $5,26^\circ$ ) sekä kuvassa 61 esitettyihin vinosyisyyksiin viilulaaduittain, vaikuttaa sekin suhteettoman suurelta keskimääräisen vinosyisyyden arvolta.

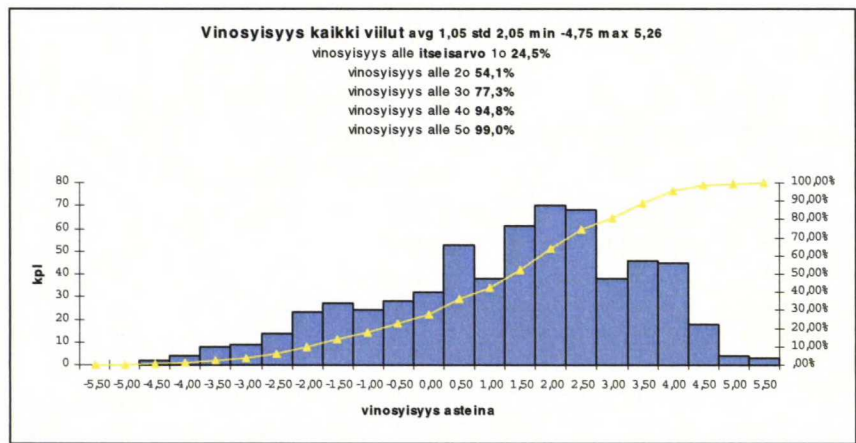
<sup>177</sup> Koponen, S., s.58-59

<sup>178</sup> Koponen, S., s.73-75



Kuva 58 Venäläisen ja suomalaisen koivutukin vinosyisyyden jakaumat (keskiarvo=average=avg, keskihajonta=standard deviation=std).

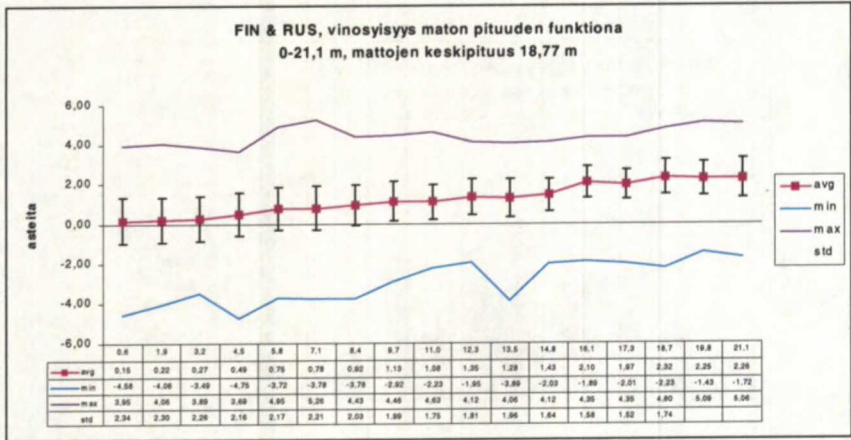
Kuvassa 59 on esitetty koko aineiston vinosyisyyden jakauma.



Kuva 59 Koko aineiston vinosyisyyden jakauma.

Kuvassa 60 on esitetty vinosyisyys keskimäärin maton pituuden funktiona. Sydäimestä kohti pintaa siirryttäessä trendi on kohti vasenkierteisyyttä.

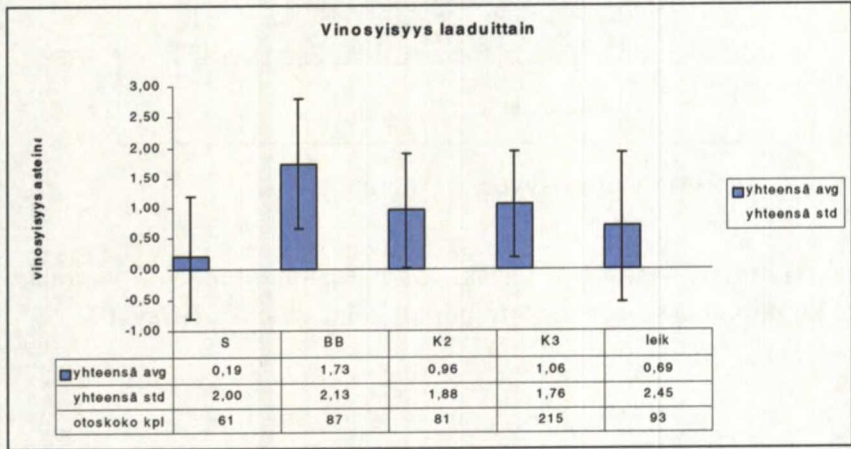




Kuva 60 Vinosyisyyden keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi eri kohdissa mattoa.

Kuvassa 61 on esitetty vinosyisyyden keskiarvoja ja hajontoja eri viilulaaduilla. Vanerin käyrityminen –projektin loppuraportissa laadun S vinosyisyyden keskiarvo oli 0,06 ja hajonta 1,49 astetta, laadun BB 1,4 ja 1,06 ja laadun PK (parempi keskimäinen) 1,88 ja 1,35 astetta.<sup>179</sup>

Vanerin käyrityminen –projektin loppuraportissa todettiin, että eroavaisuudet keskimääräisissä kierouksissa johtuvat materiaalin vinosyisyyden hajonnasta. Vaikka S-laadun viiluissa on pienempi vinosyisyyden keskiarvo, syntyy siihen suurempia kierouksia sen suuren vinosyisyyden hajonnan vuoksi. Vinosyisyyden suuri vaihtelu levyjen (pinta)viiluissa kasvattaa kieroutumista.<sup>180</sup>



Kuva 61 Vinosyisyyden keskiarvo ja hajonta viilulaaduittain.

<sup>179</sup> Koponen, S., s.58

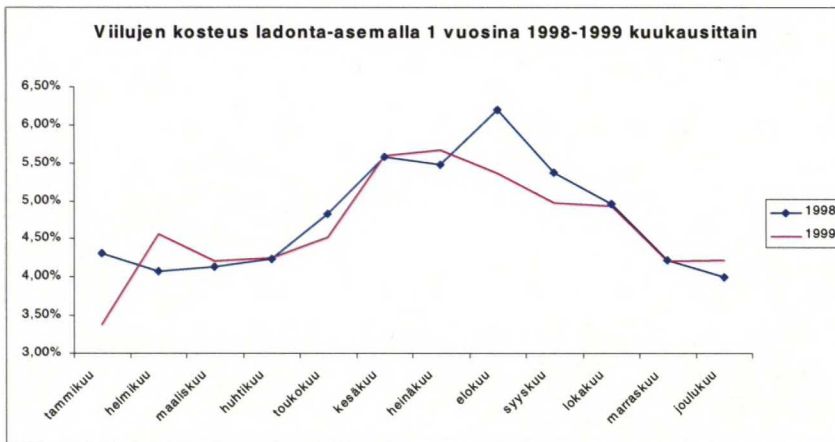
<sup>180</sup> Koponen, S. s.64-65, 68-69, 71

Kasper Sokka

Pintalaadun S vinosyisyyden hajonta oli tässä viiluotoksessa pienempi kuin laadun BB. Ehkä ero kierouksissa johtuukin alapuolisen pintaviilun kääntämisestä. Tällöin todennäköisyys, että pintaviilujen vinosyisyys vaikuttaa samaan suuntaan on laadulla S suurempi.

### 5.1.2. Viilun kosteus kuivaajien jälkeen ja ladonnassa

Viilun kosteuksia kuivaajilta ja ladonnasta on kerätty laadunvalvonnan tilastoista vuosilta 1998, 1999 ja 2000.

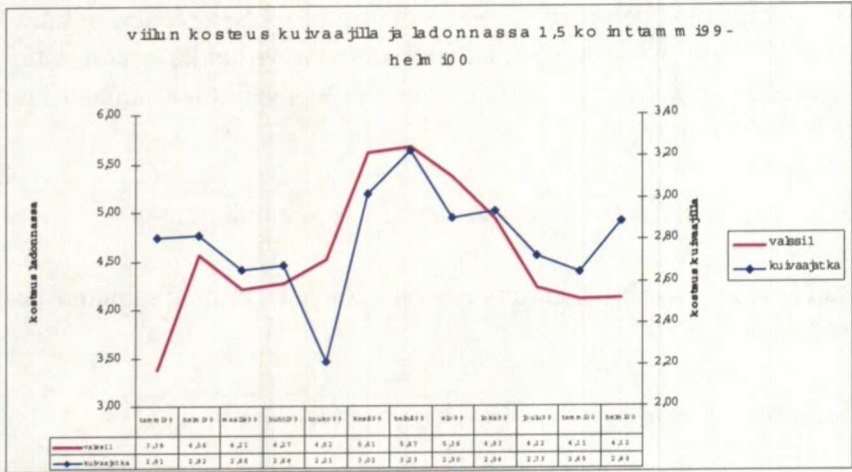


Kuva 62 Laadunvalvonnan tilastoista kerätyt viilun kosteuden kuukausittaiset keskiarvot ladonta-asemalla 1 vuosilta 1998 ja 1999.

Kuvassa 62 on esitetty viilunkosteuden kuukausikeskiarvot ladonta-asemalta 1 kahdelta täydeltä vuodelta 1998 ja 1999. UF -liimatut levyt ladotaan pääasiassa ladonta-asemalla 1. Kuvassa 63 on verrattu viilun kosteutta kuivaajilla viilun kosteuteen ladonnassa asemalla 1 kuukausittain. Viilun kosteustiedot on kerätty laadunvalvonnan tilastoista niiltä päiviltä, joilta löytyi merkintöjä viilun kosteudesta sekä kuivaajilta, että ladonta-asemalta 1.

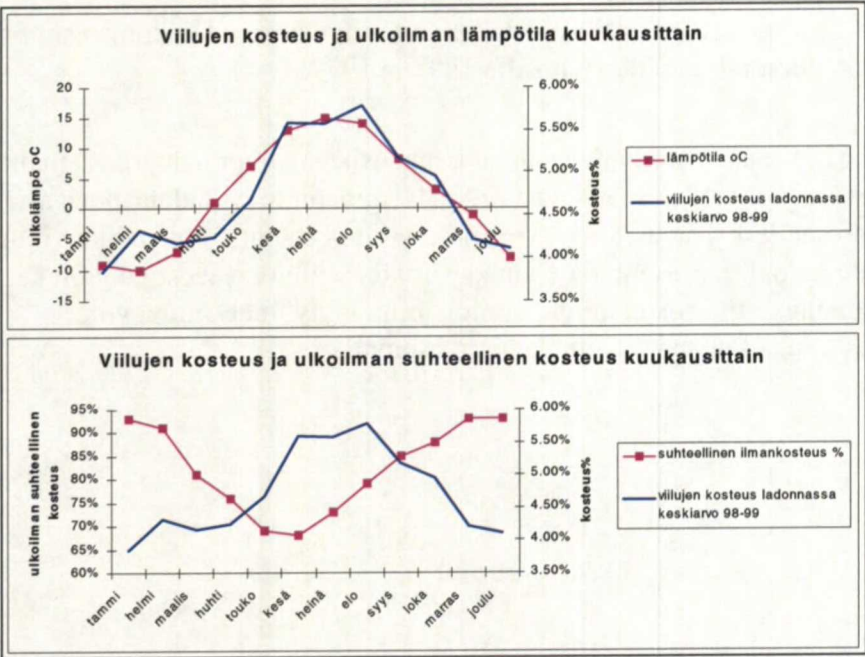


Kasper Sokka

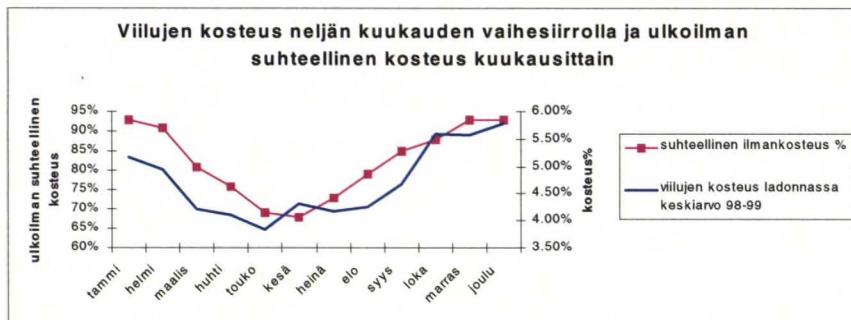


Kuva 63 Laadunvalvonnan tilastoista kerätyt viulun kuukausittaiset keskiarvot viilujen kosteudesta kuivaajien jälkeen (kaikkien kuivaajien keskiarvo) ja ladonta-asemalla 1.

Kuvassa 64 on esitetty samassa kuvaajassa viulun kosteuden kuukausikeskiarvot ladonta-asemalta 1 ja ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Kuukausikeskiarvojen laskennassa on käytetty laadunvalvonnan tilastoja täysiltä kalenterivuosilta 1998 ja 1999.



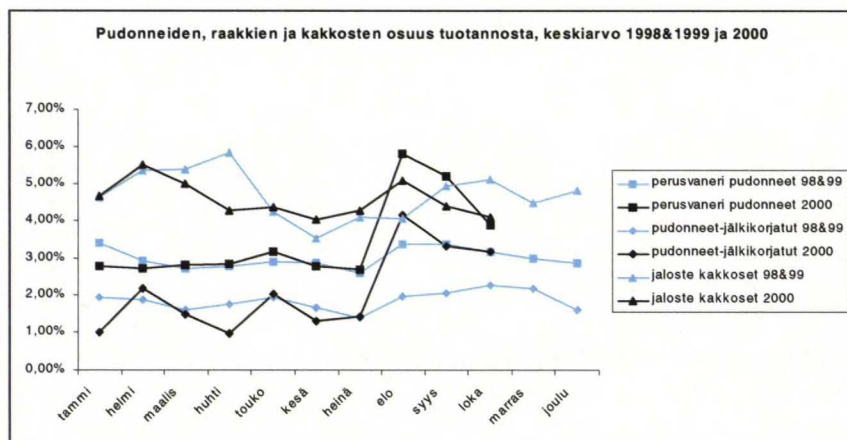
Kuva 64 Viilun kosteuden kuukausikeskiarvot ja ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.



Kuva 65 Viilun kosteuden kuukausikeskiarvot neljän kuukauden vaihesiirrolla ja ulkoilman suhteellinen kosteus.

Kuvasta 64 käy selvästi ilmi miten viilun kosteus ladonnassa näyttää seuraavan hyvin tarkasti ulkoilman lämpötilaa. Viilujen kosteus näyttää seuraavan ulkoilman suhteellista kosteutta neljän kuukauden viiveellä (kuva 65).

Erityisen ongelmalliseksi tilanne muodostuu kesälomaseisokin aikana, jolloin joidenkin viiluerien kosteus nousee jopa lähelle 10 prosenttia. Tuotannon jälkeen käynnistyessä on ladonnassa yhtä aikaa hyvin eri kosteuksisia viiluja, koska osa viiluista tulee ladontaan jotakuinkin suoraan kuivauksesta. Tämä korostaa viiluerien kosteuseroista johtuvaa käyritystä ja kieroutumista ja aiheuttaa myös ongelmia liimauksen onnistumisessa osan viiluista ollessa jo liian kosteita. Suuret kosteusvaihtelut näkyvät selvästi jo esipuristuksessa ja pahimmassa tapauksessa levyjä ei edes pystytty syöttämään kuumapuristimeen tai senkin vielä onnistuessa tehdään koko puristimellinen raakkia.



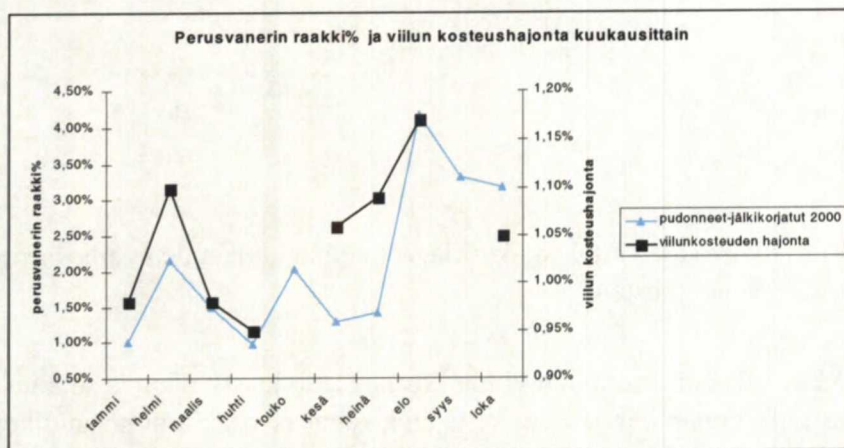
Kuva 66 Perusvanerin pudonneet, pudonneet vähennettynä jälkikorjatuilla ja jalosteiden kakkosten osuus. Keskiarvo vuosista 1998 ja 1999 sekä vajaa vuosi 2000.

Kuvassa 66 erottuu selvästi tämän vuoden tilanne kesälomaseisokin jälkeen. Raakkiprosentti on hypännyt noin kaksinkertaiseksi. Vaikuttavia tekijöitä on todennäköisesti useampia kuin yksi, mutta laadunvalvonnan tilastoja tarkasteltaessa käy selvästi ilmi, että tämän vuoden seisokin jälkeen viilun



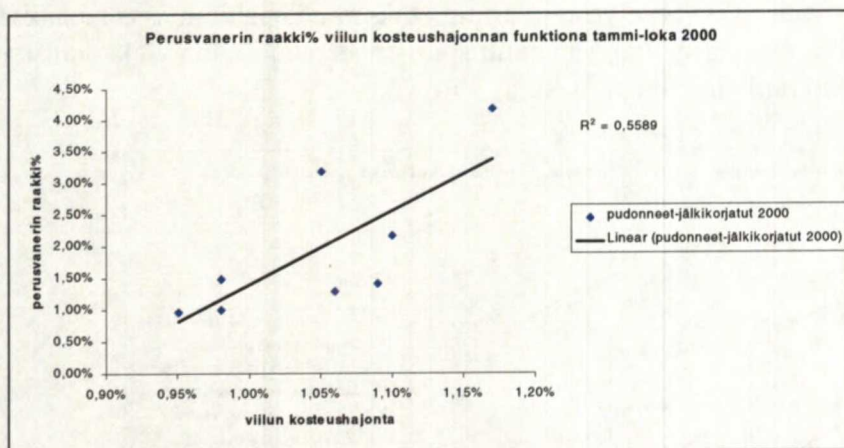
Kasper Sokka

kosteuden hälytysrajan (>7%) ylityksiä on normaalia enemmän. Kuukausikeskiarvojen laskennassa on käytetty laadunvalvonnan tilastoja.



Kuva 67 Viilun kosteuden hajonta ja perusvanerin raakki% kuukausittain tammi-lokakuu 2000.

Kuvassa 67 on esitetty perusvanerin raakkiprosentti ja viilunkosteuden hajonta kuukausittain. Kuva 68 esittää niiden välistä korrelaatiota. Kuukausikeskiarvojen laskennassa on käytetty laadunvalvonnan tilastoja.



Kuva 68 perusvanerin raakki% viilunkosteuden hajonnan funktiona tammi-lokakuu 2000.

### 5.1.3. Liimanlevityksen vaihtelu ulkoisten olosuhteiden mukaan

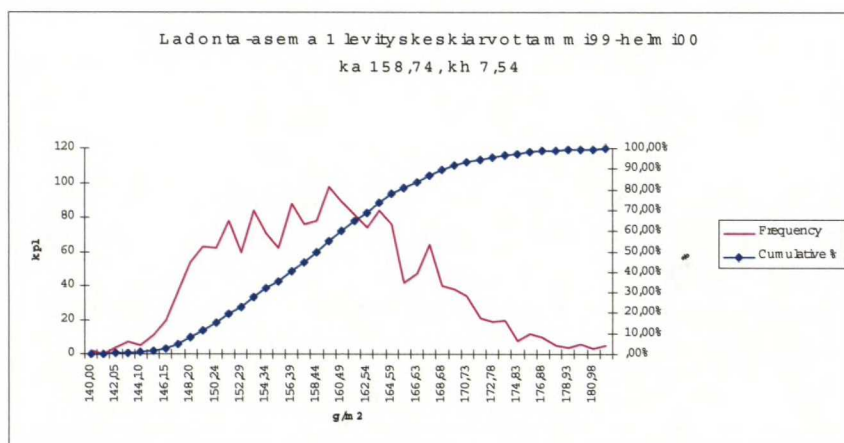
Laadunvalvonnan keräämistä liimanlevityksen seurantataulukoista on laskettu kuukausittaiset liimanlevityksen keskiarvot. Keskiarvoja on laskettu ladontasemille 1 ja 6, joilla UF-liimattuja tuotteita on ladottu vuosina 1998, 1999 ja alkuvuonna 2000.

Kasper Sokka

Liiman lämpötilaa, viskositeettia ja liimanlevityksen kuukausikeskiarvoja ja ulkoilman lämpötilaa on edelleen vertailtu keskenään.

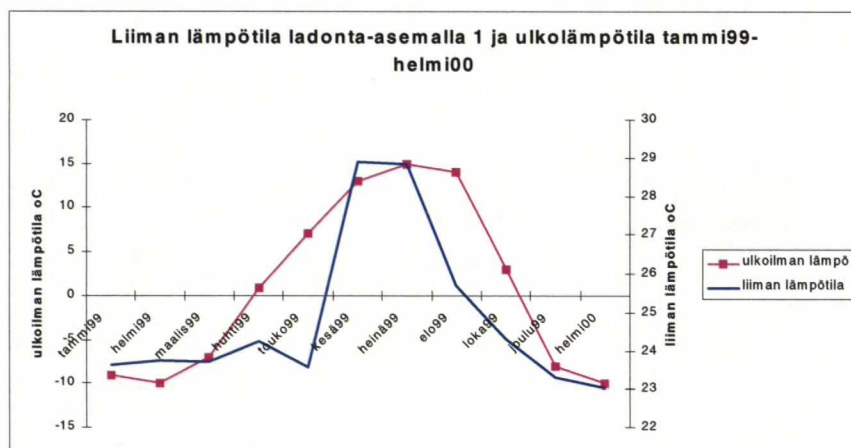
Lisäksi kokeilemalla haettiin myöhempiä kokeita ajatellen parasta tapaa mitata liimanlevityksen tasaisuutta.

Kuvassa 69 on esitetty liimanlevityksen jakauma ladonta-asemalla 1 laadunvalvonnan tilastoista laskettuna väliltä tammikuu 1999-helmikuu 2000. Tällä välillä liimanlevityksen keskiarvo oli noin  $159 \text{ g/m}^2$  hajonnan ollessa noin  $7,5 \text{ g/m}^2$ .



Kuva 69 Liimanlevityksen jakauma ladonta-asemalla 1.

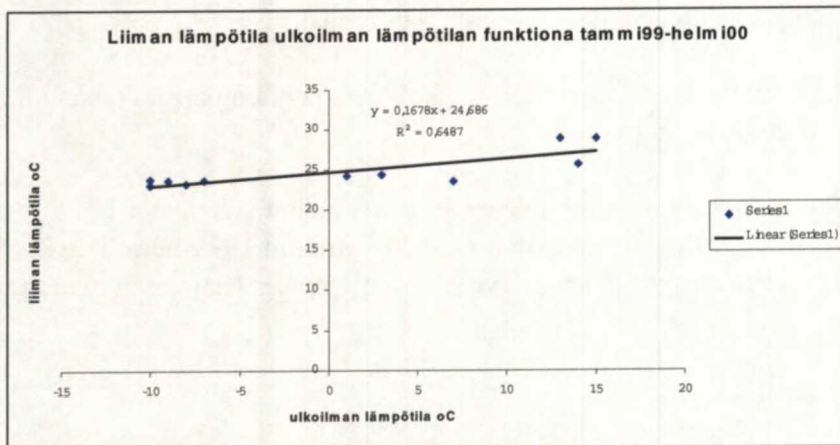
Kuvassa 70 on esitetty laadunvalvonnan tilastoista kerätty urea-formaldehydiliiman lämpötila kuukausittain ja ulkoilman lämpötila väliltä tammikuu 1999-helmikuu 2000. Kuvasta 71 käy ilmi ulkoilman lämpötilan ja liiman lämpötilan välinen korrelaatio.



Kuva 70 UF liiman lämpötilan kuukausikeskiarvot ladonta-asemalla 1 ja ulkoilman lämpötila.

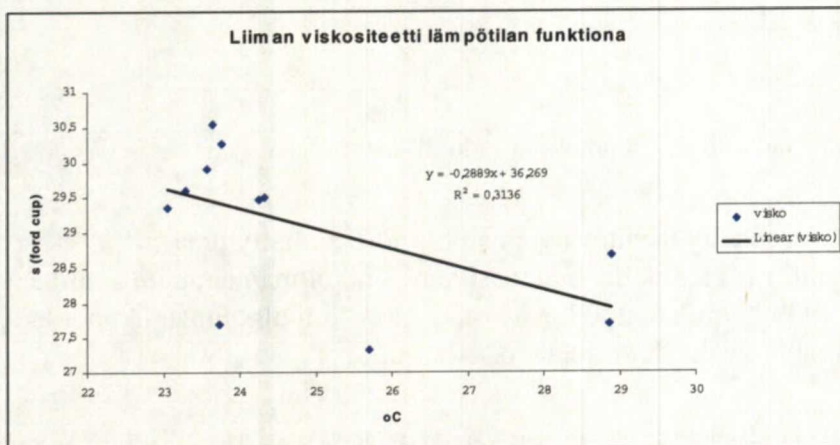


Kasper Sokka



Kuva 71 UF liiman lämpötila ulkoilman lämpötilan funktiona.

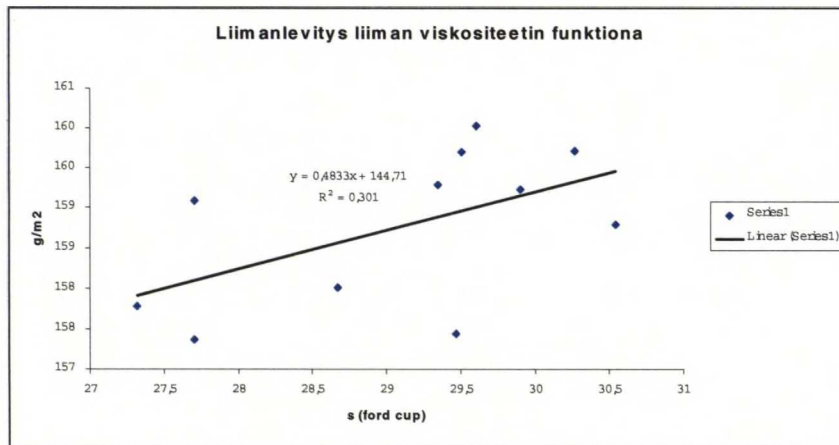
Kuvat 72 ja 73 esittävät ulkoilman lämpötilan kuukausikeskiarvojen korrelaatiota liiman viskositeetin kuukausikeskiarvojen kanssa sekä edelleen liiman viskositeetin kuukausikeskiarvojen korrelaatiota liimanlevityksen kuukausikeskiarvojen kanssa. Keskiarvot on laskettu laadunvalvonnan tilastoista.



Kuva 72 UF liiman viskositeetti ulkoilman lämpötilan funktiona.

Liimanlevityksen tasaisuuteen vaikuttavat toki monet muutkin tekijät, mutta selvää on että hartsin lämpötilan vaihtelulla ja liimaseokseen käytettävän pesuveden laadulla hartsin viskositeetin kanssa on suurin vaikutus liiman viskositeettiin.<sup>181</sup>

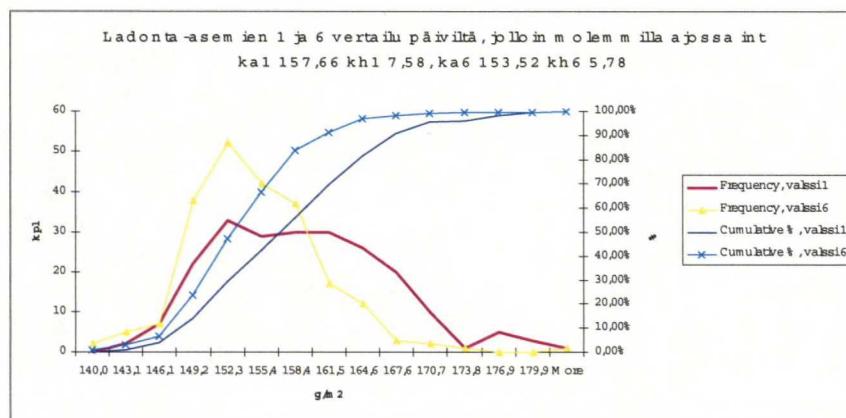
<sup>181</sup> Puusi, s.103, kuva 34



Kuva 73 UF liiman levitys liiman viskositeetin funktiona.

Hartsin lämpötilan kautta liimaseoksen lämpötilan hallinta on mahdollista toteuttaa esimerkiksi rakentamalla hartsisäiliön ympärille vesivaippa, jossa kiertää aina tasalämpöinen vesi. Pesuveden kuiva-ainepitoisuutta voidaan hallita ohjaamalla valsseilta tuleva pesuvesi välivarastoon, jossa sen kuiva-ainepitoisuus pidetään tasaisena raakavettä lisäämällä tai vähentämällä.

Tämä sinänsä ei poista valsseista johtuvaa liimanlevityksen hajontaa. Hyvä esimerkki on UF –liimatuilla levyillä ladonta-asemien 1 ja 6 ero. Interior liimattuja levyjä on tarpeen vaatiessa ladottu kahdella asemalla, jolloin käytössä ovat olleet ladonta-asemat 1 ja 6. Kuvassa 74 on esitetty samassa kuvassa ladonta-asemien 1 ja 6 liimanlevityksen jakaumat niiltä päiviltä, jolloin molemmilla on ladottu UF –liimattuja levyjä.

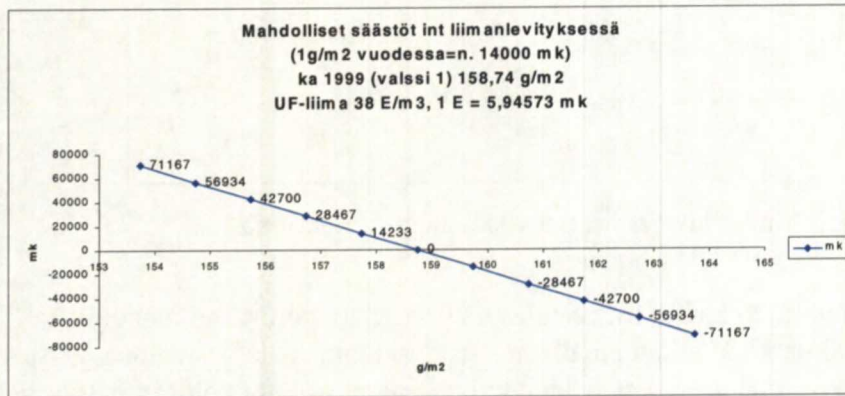


Kuva 74 Ladonta-asemien 1 ja 6 liimanlevityksien jakaumat päivinä jolloin molemmilla on ollut ajossa UF liima.

Kuten kuvasta 74 selvästi käy ilmi, on ladonta-asemalla 6 keskimäärin liimanlevityksen keskiarvo ollut noin 4 grammaa neliömetrille pienempi kuin ladonta-asemalla 1. Hajonta on myös keskimäärin pienempää. Liimanlevityksen arvot on laskettu laadunvalvonnan tilastoista.



Jos pidetään UF liimaseoksen hintana 38 Euroa/tuotettu vanerikuutio ja UF – liimattujen levyjen vuosituotantona noin 10 000 m<sup>3</sup>, päädytään kuvan 75 mukaiseen laskelmaan. Pelkinä liimakuluina keskiarvoilla laskien jos oletettaisiin kaiken tuotannon tapahtuvan ladonta-asemalla 6, rahaa säästyisi noin 60 000 mk/vuosi.



Kuva 75 Mahdollisia säästöjä UF liimanlevityksessä.

Tarkoitus ei ole niinkään osoittaa ladonta-asemaa 6 ladonta-asemaa 1 paremmaksi, vaan näyttää, että huomattavia eroja löytyy. Tärkeämpää kuin asettaa valsseja paremmuusjärjestykseen onkin selvittää mistä erot johtuvat ja etsiä paras mahdollinen toimintatapa.

#### 5.1.4. Ureaformaldehydiliimattujen stanssilevyjen tuotanto ja reklamaatiot

Tuotantotietokannoista kerättiin tuotantolukuja DIE –tuoteperheen levyistä. Lisäksi reklamaatiotietokannasta haettiin stanssilevyjen kieroutumiseen ja käyristymiseen yhdistettävissä olevia asiakasreklamaatioita. Reklamoitujen erien liimaus- ja lähetyspäivät etsittiin arkistosta.

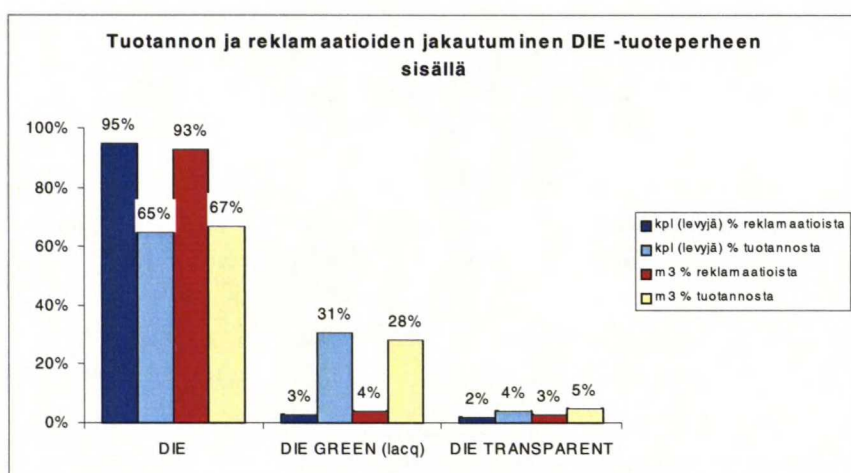
Tuoteperheen reklamaatioita tarkasteltiin suhteutettuna tuotantoon (sekä kappalemääräiseen että kuutiomääräiseen) sen eri levytyyppien, pintaviilun laatujen, pöllimitan, levypaksuuden ja vuodenajan mukaan pyrkien löytämään korrelaatiota eri tekijöiden kesken.

Reklamaatioiden kohdentamisessa jollekin tietylle tilauserälle oli vaikeuksia. Joiltakin markkina-alueilta ei hyväksytty käyristymiseen ja kieroutumiseen liittyviä reklamaatioita lainkaan. Toisaalta taas esimerkiksi yksi USA:n reklamaatioista sisälsi levyjä kuudesta eri aikaan valmistetusta erästä. Lisäksi vanhemmat reklamaatiot oli etsittävä käsin arkistoista. Sama koski myös osaa tehdastilauksista, eikä osaa reklamaatiosta pystytty kohdentamaan tietylle tuotantoerälle lainkaan.

Kasper Sokka

Vuosituotantoa laskettaessa eri DIE tuoteperheen levyille jouduttiin haku suorittamaan koko vuodelle ja tämä aiheutti ongelmia joissakin myöhemmissä laskutoimituksissa. Yleisesti ottaen reklamaatioiden kohdentaminen ja niiden tutkiminen tuotantomäärillä painotettuna oli aikaa vievää. Voikin sanoa, että pitemmän aikavälin seuranta reklamaatioihin liittyen on vajavaista, jos sitä on ollenkaan. Tilastollista tarkastelua ajatellen ei tutkittavaa aineistoa kertynyt lähellekään riittävää määrää.

Aineiston kerääminen tietokantoihin eri tuotteiden tuotantomääristä ja koneyksiköiden toiminnasta sekä tuotteisiin eri syistä kohdistuvista reklamaatioista antaisi täysin erilaiset valmiudet käsitellä ja käyttää dataa pitemmän aikavälin raportointiin, seurantaan ja tutkimustyöhön.



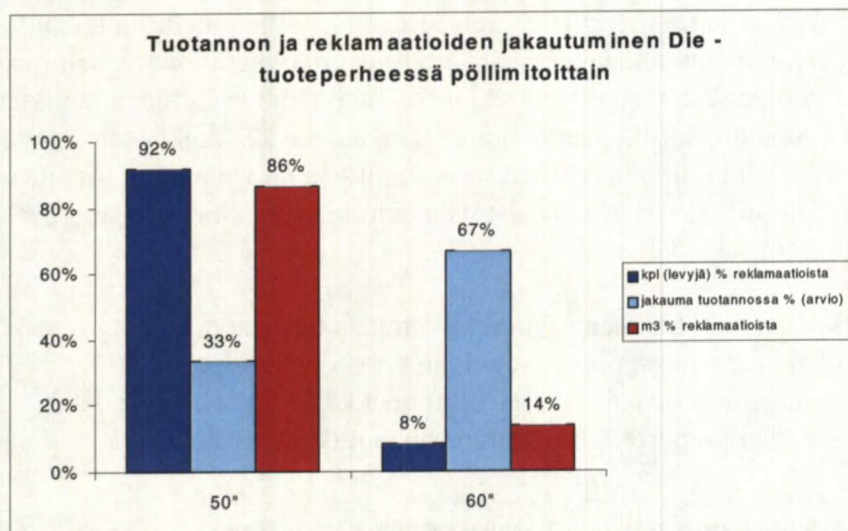
Kuva 76 Tuotannon ja reklamaatioiden jakautuminen DIE tuoteperheen sisällä.

Kuvassa 76 on esitetty miten tuotanto ja reklamaatiot ovat jakautuneet urea-formaldehydiliimattujen stanssivanereiden koivupintaisten (DIE), lakattujen (green) ja melamiinikalvolla pinnoitettujen (transparent) levytyyppien välillä. Vasemmanpuoleisin tolppa kuvaa ryhmän reklamoitujen levyjen prosentuaalista osuutta kaikista reklamaatioista. Toinen tolppa vasemmalta kuvaa ryhmän levyjen prosentuaalista osuutta tuotannosta. Ensimmäisen kahden tolpan kuvaamat prosenttiosuudet on laskettu levyjen kappalemääristä ja kahden oikeanpuoleisen kuutioista. Kuvasta voi todeta, että lakattujen levyjen osuus reklamaatioista on huomattavan pieni verrattaessa sitä niiden osuuteen tuotannosta.

Tarkastelun perusteella päädyttiin tutkimaan viimeisessä koesarjassa eri levytyyppien välisiä mahdollisia eroja.



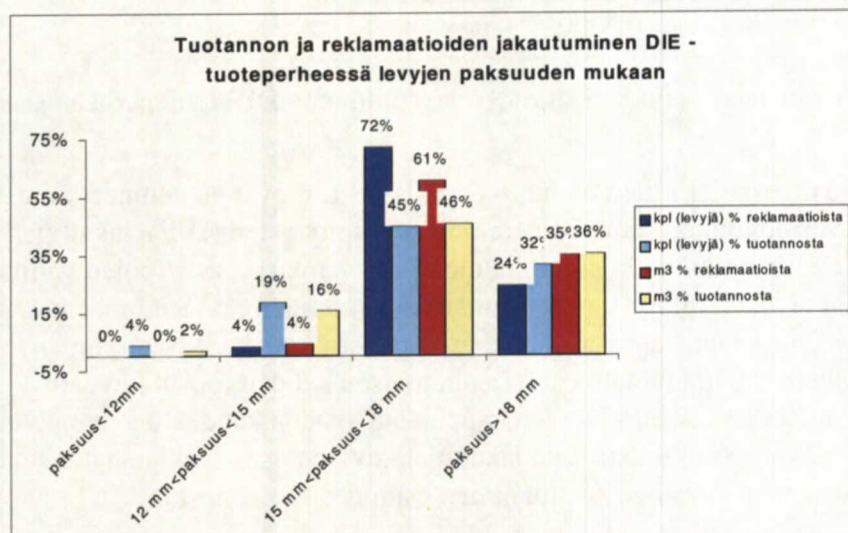
Kasper Sokka



Kuva 77 Tuotannon ja reklamaatioiden jakautuminen pöllimitoittain.

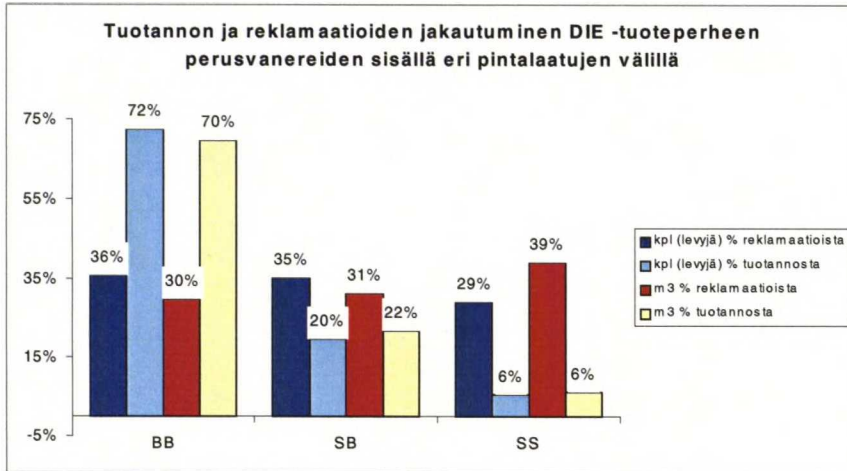
Kuvassa 77 on tuotanto ja reklamaatiot jaettu käyttäen kriteerinä pöllimittaa. Suurin osa reklamaatioista näyttää kohdistuvan 50° pöllimitan levyihin. Tuotannon jakautuminen DIE -tuoteperheessä pöllimittojen välillä on arvio.

Tarkastelun perusteella päädyttiin tutkimaan viimeisessä koesarjassa eri levytyyppien välisien erojen lisäksi rinnakkaisina ryhminä molempia pöllimittoja.



Kuva 78 Tuotannon ja reklamaatioiden jakautuminen levyn paksuuden mukaan.

Kuvasta 78 käy ilmi, että suurin osa reklamaatioista suhteutettuna tuotantoon kohdistuu levyihin paksuudeltaan välillä 15-18 mm. Levyt on ryhmitelty paksuusluokkiin alle 12 mm, 12 mm, mutta alle 15 mm, 15 mm, mutta alle 18 mm sekä 18 mm ja sen yli. Tarkastelun perusteella valittiin koe-erien levyjen paksuudeksi 15 mm.



Kuva 79 Tuotannon ja reklamaatioiden jakautuminen perusvanerin sisällä eri pintalaatujen välillä.

Kuvassa 79 on esitetty tuotannon ja reklamaatioiden jakautuminen perusvanerin sisällä eri pintaviiluvaihtoehtojen välillä. Suuri osa reklamaatioista suhteutettuna tuotannolla kohdistuu laatuun S/S. Tätä pintavaihtoehtoa käytettiin faktorikokeen levyissä. DIE –tuoteperheen sisäisissä kokeissa levyjen pintalaatu oli BB/BB. Syy reklamaatioiden kohdistumiseen suhteutettuna tuotantoon levyihin, joiden molemmat pinnat ovat laatua S löytyy aikaisempien tutkimusten mukaan vinosyisyyden suuresta vaihtelusta kyseisen laadun viilujen välillä.<sup>182</sup>

#### 5.1.5. Ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan muutokset tehtaalla ja määräsatamissa

Tavoitteena oli tutkia olosuhteita, joille tuotteet kuljetuksen ja varastoinnin aikana altistuvat. Aineisto hankittiin weatherbase.com –internetsivuilta. Sivuille on kerätty tietoa ympäri maailman yli 10200 paikkakunnan säätilasta. Weatherbase on Canty and Associates yhtiön tarjoama palvelu.

Tätä tutkimusta varten kerättiin pitkäaikaiskeskiarvoja tehdaspaikkakunnasta eli Joensuusta ja UF –liimattujen levyjen määräsatamista.

Ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kuukausittaisten keskiarvojen avulla laskettiin puulle tasapainokosteus. Tasapainokosteuksia Joensuussa ja määräsatamissa vertailtiin keskenään.

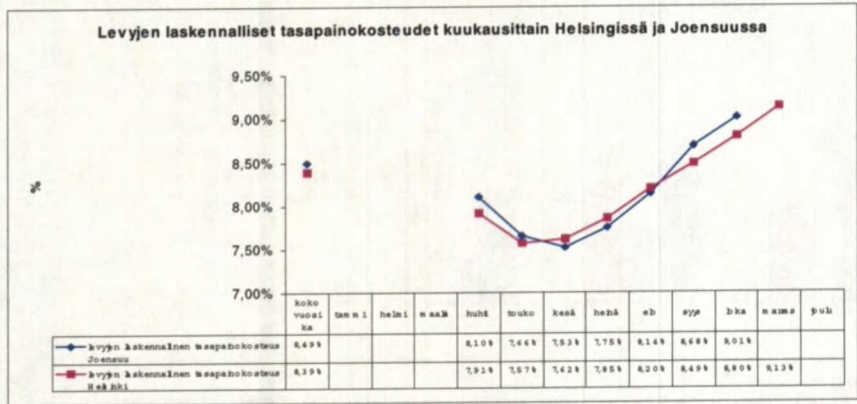
Kuvassa 80 näkyvät kuukausittaiset erot puun tasapainokosteudessa Joensuussa ja Helsingissä. Verrattuna kuvaan 82, jossa on esitetty laskennalliset puun tasapainokosteudet Joensuussa ja eräissä määräsatamissa, ovat ne hyvin pieniä. Kuvassa 81 on verrattu kuukausittaisia laskennallisia tasapainokosteuksia

<sup>182</sup> Koponen, S., s.64-65, 68-69, 71

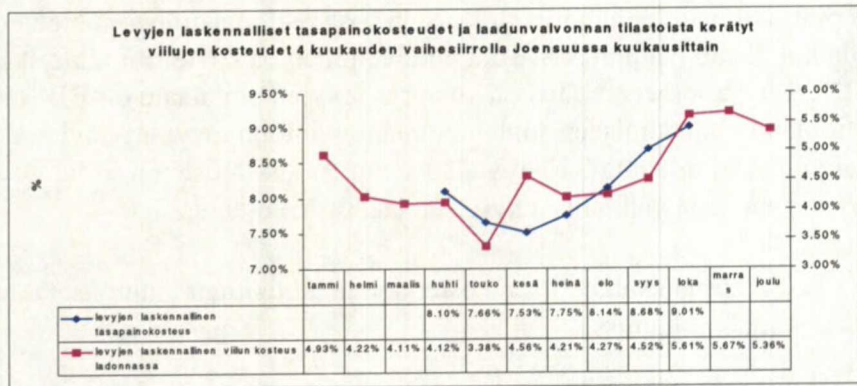


Kasper Sokka

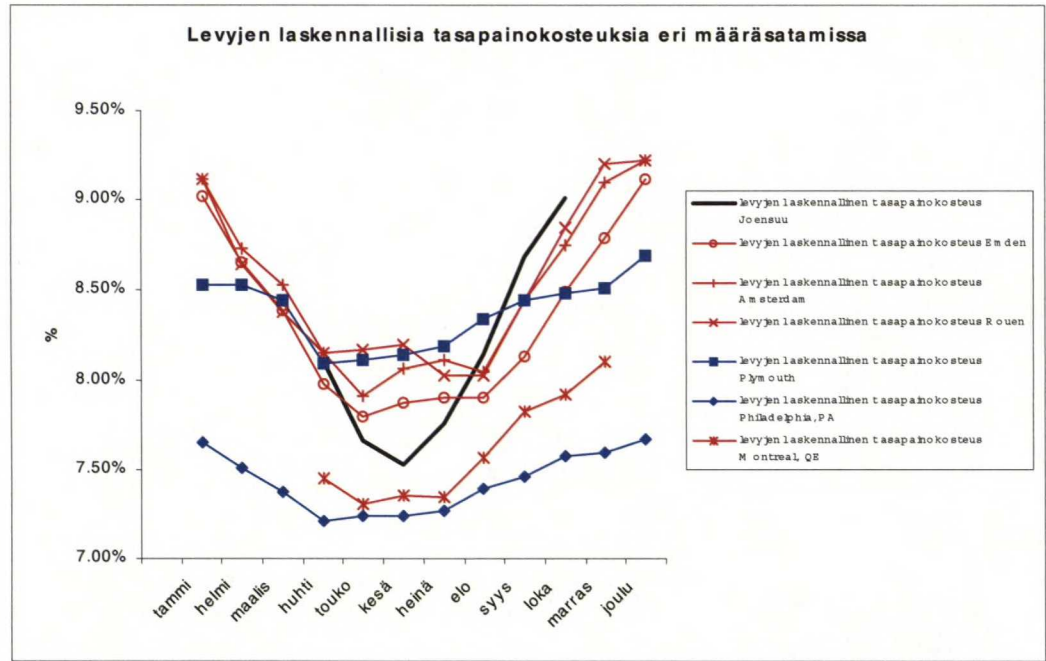
Joensuussa kuukausittaisiin viilun kosteuksiin. Viilun kosteudet näyttävät seuraavan laskennallista tasapainokosteutta neljän kuukauden viiveellä.



Kuva 80 Puun laskennallisen tasapainokosteuden kuukausittaiset erot Joensuussa ja Helsingissä



Kuva 81 Puun laskennallinen tasapainokosteus Joensuussa kuukausittain ja viilujen kosteus kuukausittain neljän kuukauden vaihesiirrolla.



Kuva 82 Puun laskennallinen tasapainokosteus kuukausittain eri kaupungeissa.

Kuvien 80-82 ja taulukon 2 tasapainokosteudet on laskettu kaavalla 1

$$M = \frac{1800}{W} \left[ \frac{KH}{1 - KH} + \frac{K_1KH + 2K_1K_2K^2H^2}{1 + K_1KH + K_1K_2K^2H^2} \right]$$

(kaava 1)

$W = 330 + 0,45 T + 0,00415 T^2$   
 $K = 0,791 + 0,000463 T - 0,000000844 T^2$   
 $K_1 = 6,34 + 0,000775 T - 0,0000935 T^2$   
 $K_2 = 1,09 + 0,0284 T - 0,0000904 T^2$   
 $T = \text{lämpötila } (^{\circ}F)$   
 $H = \text{suhteellinen kosteus } (\%)$   
 $M = \text{puun tasapainokosteus } (\%)$   
 $^{\circ}F = 1,8^{\circ}C + 32$

Taulukossa 2 on esitetty kuvassa 82 esitetyt laskennalliset tasapainokosteudet eri paikkakunnilla kuukausittain. Taulukosta löytyvät kuvassa olevien paikkakuntien lisäksi laskennalliset puun tasapainokosteudet seuraavilta paikkakunnilta:

- Kiel
- Lübeck
- Graz
- Linz
- Horsens
- Copenhagen
- Le Havre
- Ipswich
- New York, NY
- Houston, TA
- Los Angeles, CA



Taulukko 2 Kuukausittainen puun laskennallinen tasapainokosteus Joensuussa ja määräsatomissa sekä laadunvalvonnan tilastoista kerätty viilujen kosteus ladonnassa kuukausittain.<sup>183</sup>

	levyjen laskennallinen tasapainokosteus		viilujen kosteudet kuukausittain Joensuussa		levyjen laskennallinen tasapainokosteus			
	Joensuu		Joensuu		Kiel		Lubeck	
koko vuosi avg	8.49%		4.58%		8.15%		8.36%	
tamm			3.38%		8.74%		8.83%	
heinä			4.56%		8.50%		8.74%	
maal			4.21%		8.34%		8.49%	
huhti	8.10%		4.27%		7.93%		8.24%	
touko	7.66%		4.52%		7.65%		8.05%	
kesä	7.53%		5.61%		7.61%		7.99%	
heinä	7.75%		5.67%		7.68%		7.90%	
elo	8.14%		5.36%		7.74%		7.96%	
syys	8.68%		4.93%		8.02%		8.15%	
loka	9.01%		4.22%		8.35%		8.49%	
mar			4.11%		8.55%		8.80%	
joulu			4.12%		8.74%		8.83%	
koko vuosi avg	8.45%		8.15%		8.49%		8.49%	
tamm	9.35%		8.93%		9.11%		9.21%	
heinä	9.13%		8.75%		8.74%		8.64%	
maal	8.83%		8.49%		8.54%		8.38%	
huhti	8.19%		7.93%		8.15%		8.15%	
touko	7.72%		7.51%		7.91%		8.17%	
kesä	7.68%		7.49%		8.06%		8.20%	
heinä	7.79%		7.53%		8.11%		8.03%	
elo	8.13%		7.63%		8.04%		8.03%	
syys	8.39%		8.02%		8.44%		8.44%	
loka	8.79%		8.43%		8.76%		8.85%	
mar	9.11%		8.71%		9.09%		9.20%	
joulu	9.35%		8.92%		9.22%		9.22%	
koko vuosi avg	7.45%		7.32%		7.67%		7.65%	
tamm	7.65%		7.40%		7.77%		7.39%	
heinä	7.51%		7.35%		7.69%		7.56%	
maal	7.38%		7.21%		7.63%		7.70%	
huhti	7.21%		7.03%		7.62%		7.68%	
touko	7.24%		7.19%		7.74%		7.84%	
kesä	7.24%		7.24%		7.67%		7.87%	
heinä	7.27%		7.13%		7.59%		7.88%	
elo	7.39%		7.20%		7.59%		7.95%	
syys	7.46%		7.36%		7.69%		7.76%	
loka	7.57%		7.37%		7.60%		7.63%	
mar	7.60%		7.46%		7.68%		7.41%	
joulu	7.67%		7.50%		7.74%		7.31%	

5.2. AIKAISEMPIEN AIHEESEEN LIITTYVIEN TUTKIMUSTEN KOETULOSTEN UUELLEENANALYSOINTI

Ennen varsinaisia tehdaskokeita esitetään tässä kappaleessa lyhyesti kolme tutkimusta, joiden koetuloksia on soveltuvien osin käsitelty uudelleen tilastollisen analyysin kokonaan puuttuessa tai ollessa vertailukelvoton tämän työn tuloksia ajatellen. Osaa erityisesti Vanerin käyristyminen –projektin tuloksista on jo käsitelty kirjallisuusosiossa.

5.2.1. Parkettivanerien käyristymiskokeita

Suoruus on erityisen tärkeitä laminaattiparkettirakenteisiin menevissä vanereissa. Käyristyminen ja kieroutuminen aiheuttavat ongelmia niin parkettien tuotantoprosessissa kuin asennusvaiheessa.

Vuonna 1995 parkettiteollisuuden volyymi oli 75 Mm<sup>2</sup>. Schauman Woodin tuotannosta parkettivanerit muodostivat 1998 noin 5%. Parkettivanerista suurin osa on kuusi- tai mäntypintaista havuvaneria ja loput koivuvaneria. Parkettivanerien rakenteet ja paksuudet vaihtelevat asiakaskohtaisesti.<sup>184</sup>

<sup>183</sup> Forest products laboratory ja weatherbase.com

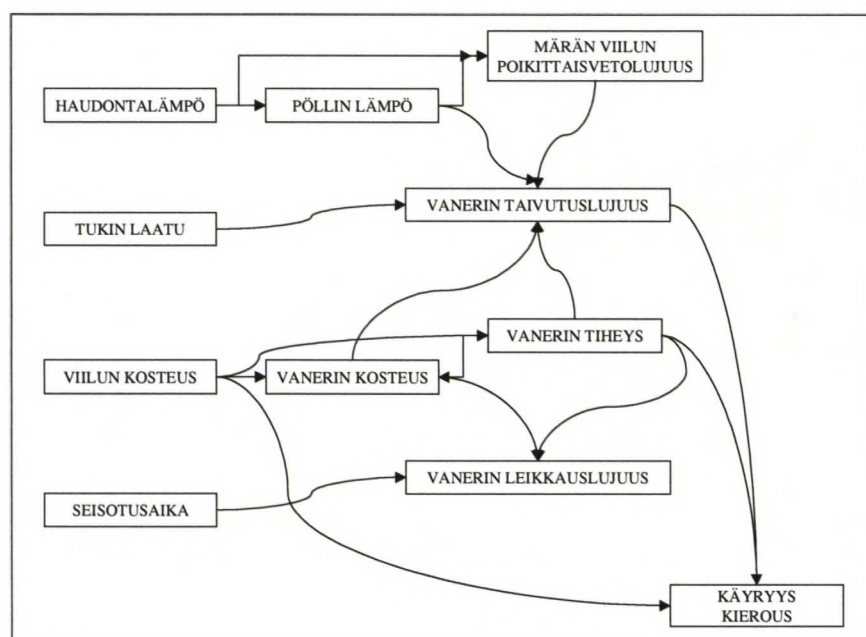
<sup>184</sup> Hannonen, s.1

Hannosen diplomityössä tutkittiin 6,5 ja 9,0 mm koivuvanerin käyristymiseen ja kieroutumiseen vaikuttavia tekijöitä raaka-aineesta aina kuumapuristuksen jälkeiseen välivarastointiin. Prosessiolosuhteiden vaikutuksista tutkittavaksi tekijöiksi oli valittu puuraaka-aineen laatu, esihaudonta, haudonta, kuivauskoneen tyyppi, kuivan viilun kosteus, liiman levitysmäärä ja rata-aika esi- ja kuumapuristuksen välillä.<sup>185</sup>

Tutkimuksen pääosan muodostivat tehdaskoeajot ja niissä valmistettujen levyjen suoruuksien mittaaminen. Tutkimuksessa käytettiin Taguchi menetelmää, jossa suhteellisen vähällä määrällä kokeita pystytään selvittämään useiden riippumattomien tekijöiden vaikutus.<sup>186</sup>

Koeajojen aikana Hannosen työssä kerättiin mahdollisimman paljon mittatietoa käytetyistä raaka-aineista ja olosuhteista. Kaikille mittaustuloksille ei sillä hetkellä ollut käyttökohdetta, mutta tulosten analysointia mahdollisesti tarkennettaessa tietoa olisi näin saatavilla.<sup>187</sup>

Mittaustulosten uudelleenanalysointiin käytettiin Pearsonin korrelaatiokertoimia, joilla pyrittiin etsimään lineaarisia korrelaatioita eri muuttujien välillä. Korrelaatiotaulukot on esitetty liitteessä 2. Eri muuttujien välisiä korrelaatioita on esitetty kuvassa 83.



Kuva 83 Havaittuja korrelaatioita eri muuttujien kesken.

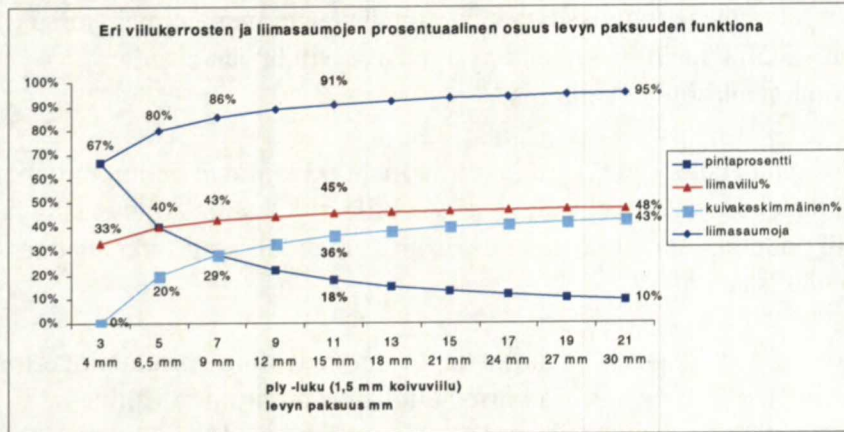
<sup>185</sup> Hannonen, s.3-4

<sup>186</sup> Hannonen s.4

<sup>187</sup> Hannonen, s.19



Aineiston perusteella haudontalämmön nostaminen (70 °C) nostaa pöllin lämpötilaa ja edelleen märän viulun poikittaisvetolujuutta. Tämä vaikuttaa vanerin lujuutta parantavasti, kuten myös parempi tukin laatu. Viulun kosteus korreloi positiivisesti vanerin kosteuden kanssa ja edelleen niin viulun kuin vanerin kosteus korreloivat tiheyden kanssa. Vanerin kosteus ja tiheys sekä seisotusaika korreloivat leikkauslujuuden kanssa. Käyryyteen ja kierouteen suoraan vaikuttavia tekijöitä ovat lujuudet ja tiheys. Suora korrelaatio löytyy myös viulun kosteudelle.



Kuva 84 Viilukerrostojen ja liimasaumojen suhteellinen osuus koko rakenteesta eri paksuuksilla.

Hannosen työssä kysessä olivat siis 6,5 ja 9,0 mm:n paksuiset vanerit. Tässä työssä tehdyissä tehdaskokeissa koelevyinä käytettiin ainoastaan 15 mm:n paksuisia levyjä. Rakenteeltaan 6,5 ja 15 mm vanerit eroavat jo huomattavasti toisistaan eri viilukerrostojen ja liimasaumojen suhteellisissa osuuksissa levyn laminaattirakenteesta. Tämän lisäksi Hannosen diplomityössä, kuten yleensä muissakin aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa, keskityttiin FF-liimattuihin levyihin. Kuvassa 84 on esitetty eri viilukerrostojen ja liimasauman suhteellinen osuus koko rakenteesta.

### 5.2.2. Viulun kosteuden vaikutus vanerin käyristymiseen

Tarvaisen diplomityössä tavoitteena oli löytää tärkeimmät vanerin käyristymiseen vaikuttavat tekijät ja samalla etsiä käytännön keinoja sen vähentämiseksi tuotannossa. Taulukossa 3 on esitetty koelevytyypit.

Työn kokeellinen osa on jaettu kolmeen osaan: tehdaskokeet, laboriokokeet ja täydentävät kokeet. Kokeita varten valmistettiin erilaisia koelevyjä, joiden avulla tutkittiin käyristymistä tehdasoloissa. Laboriokokeissa tutkittiin vanerin käyristymistä eri kosteusolosuhteissa.<sup>188</sup>

<sup>188</sup> Tarvainen, s.1

Koelevyt J oli valmistettu siten, että liimaviilujen jatkoskohdat olivat kaikissa levyn liimaviiluissa samassa kohdassa. Koelevyjen U viilut oli sorvattu 6 kuukautta vesivarastoidusta puusta. Kuvaus interior tarkoittaa levyjä, jotka oli liimattu ureamelamiiniliimalla. Lukuunottamatta koelevyjä OHU, muut levyt oli valmistettu 1,5 mm viiluista.

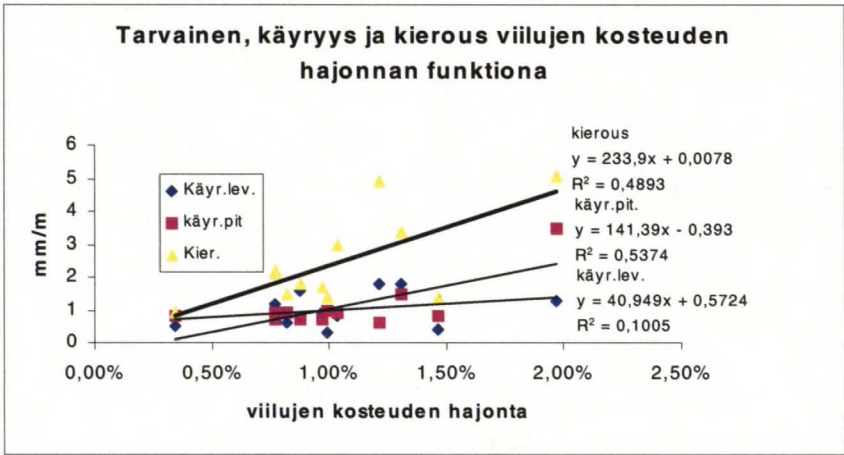
Taulukko 3 Tarvaisen koelevyt

koodi	paksuus	pintalaatu	kuvaus
N	12	BB	Normaalituotanto
HY	12	BB	Hyvä pölli
HU	12	BB	Huono, käyrä pölli
CO	12	BB	Combivaneri
SK	12	BB	Lankasaumatut kuivat
J	12	BB	Jatkoskohdat määrätty
WF	12	BB	Wisa-Form
OHU	12	BB	1,2 viiluilla, interior
INT	12	BB	Wisa-Laser X, interior
U	12	BB	Vesivarastoitu uittopuu
KL	12	BB	1. ja 4. Liimaviilulla noin 4 %:n kosteusero
KP	12	BB	Pintaviiluilla noin 4 %:n kosteusero

Ensivaiheessa tapahtuivat tehdaskokeet, joissa valmistettujen 140 levyn käyryydet ja kieroudet oli mitattu heti valmistuksen jälkeen ja kahden viikon tasaantumisen jälkeen. Levyjä oli tasaannutettu pystysuorassa asennossa pidemmän sivun suhteen jättäen levyjen väliin ilma-erä. Koelevyjen WF molemmat pinnat oli pinnoitettu 120 g/m² fenolikalvolla. Lisäksi ne oli reunamaalattu.

Seuraavassa vaiheessa tapahtuivat laboratoriokokeet. Laboratoriokokeet oli tehty Savonlinnassa kosteushuoneessa. 120 levyä sääsyklitettiin eri kosteusolosuhteissa:

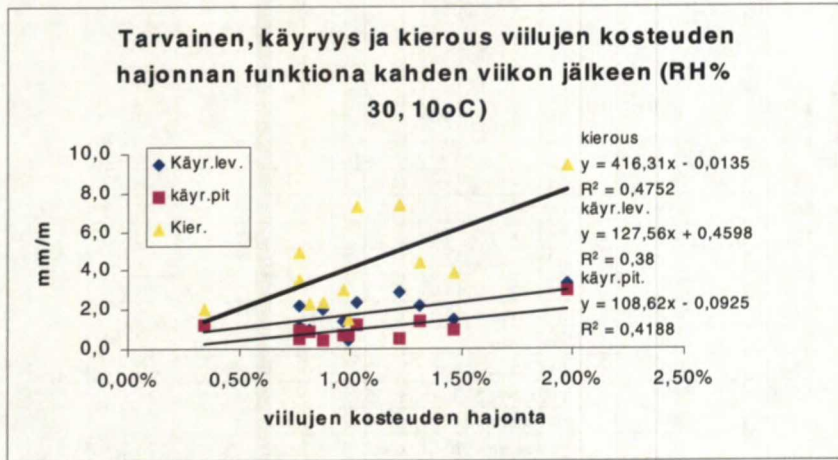
- 1. RH% 50, 20 °C    2 viikkoa
- 2. RH% 85, 20 °C    2 viikkoa
- 3. RH% 30, 20 °C    3 viikkoa



Kuva 85 Käyryys ja kierous viilun kosteuden hajonnan funktiona puristuksen jälkeen.

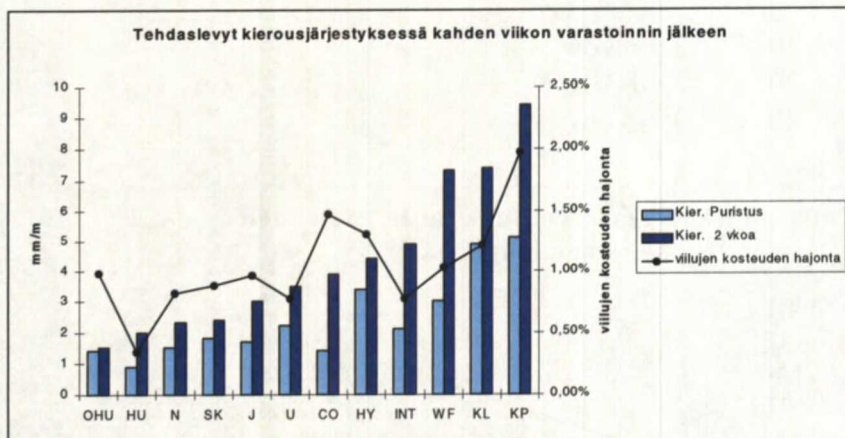


Kuvassa 85 on esitetty tehdaskoelevyryhmien käyryys ja kierous puristuksen jälkeen viilujen kosteushajonnan funktiona. Kuvassa 86 on esitetty tilanne kahden viikon varastoinnin jälkeen.



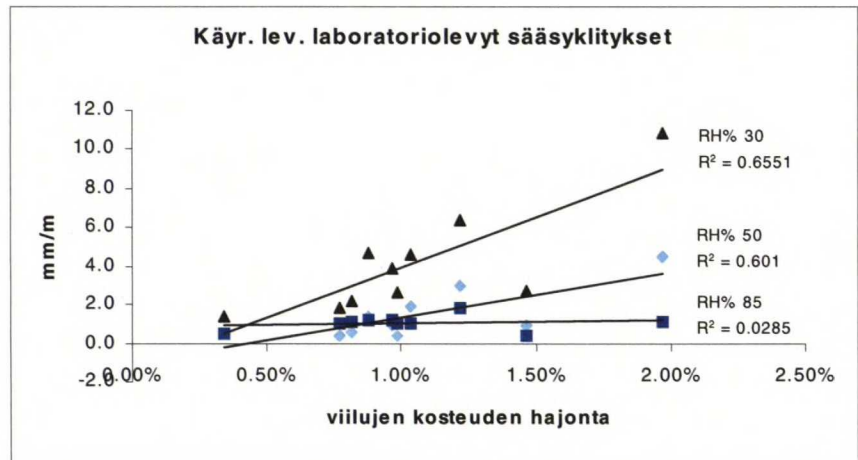
Kuva 86 Käyryys ja kierous viilun kosteuden hajonnan funktiona kahden viikon varastoinnin jälkeen (RH% 30, 10 °C).

Kuvassa 87 ovat tehdaskokeiden eri levyryhmät kahden viikon varastoinnin jälkeisessä kierousjärjestyksessä. Kaikkein kierompia ovat levyt (KP), joissa pintaviiluilla oli noin 4 %:n kosteusero. Seuraavaksi kieroimpia ovat levyt (KL), joissa 1. ja 4. Liimaviilun välillä oli noin 4 %:n kosteusero. Kieroimpia ovat siis levyt, joiden viilukerroksissa on eri kosteuksisia viiluja.

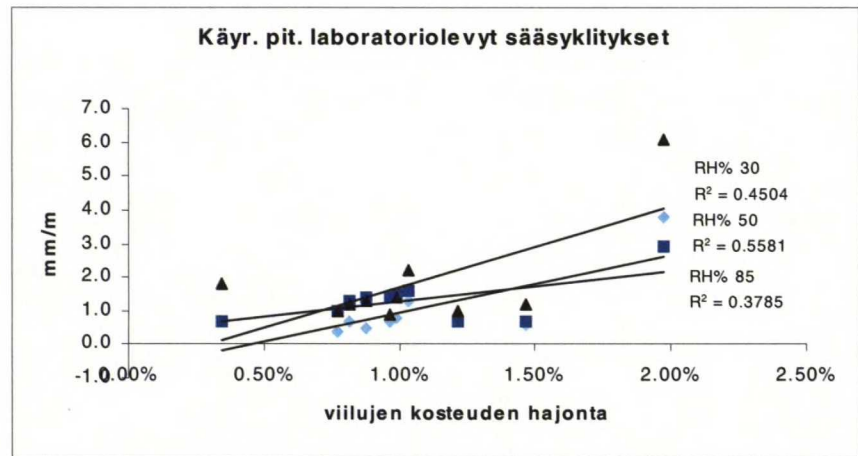


Kuva 87 Tehdaskokeiden eri levyryhmät kahden viikon varastoinnin jälkeisessä kierousjärjestyksessä.

Kuvissa 88 ja 89 on esitetty laboratoriokoelevyryhmien leveys ja pituussuuntainen käyryys sääsyklityksessä viilun kosteuden hajonnan funktiona.



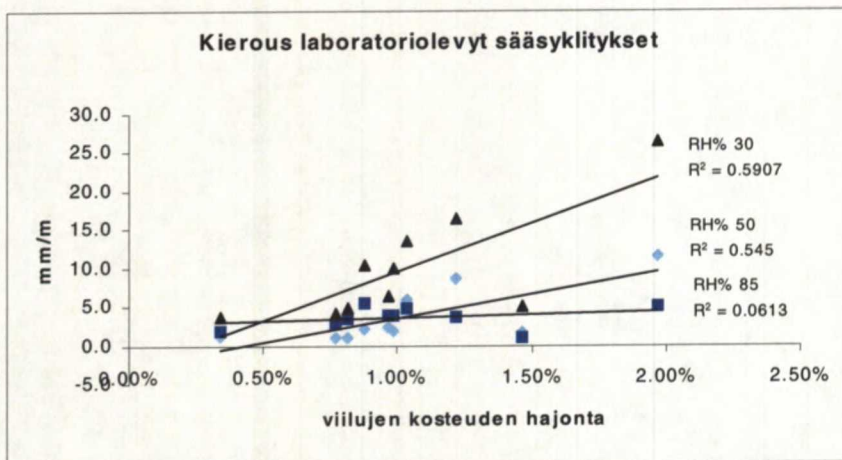
Kuva 88 Laboratoriolevyjen leveysuuntainen käyryys sääsyklityksessä viilun kosteuden hajonnan funktiona.



Kuva 89 Laboratoriolevyjen pituussuuntainen käyryys sääsyklityksessä viilun kosteuden hajonnan funktiona.

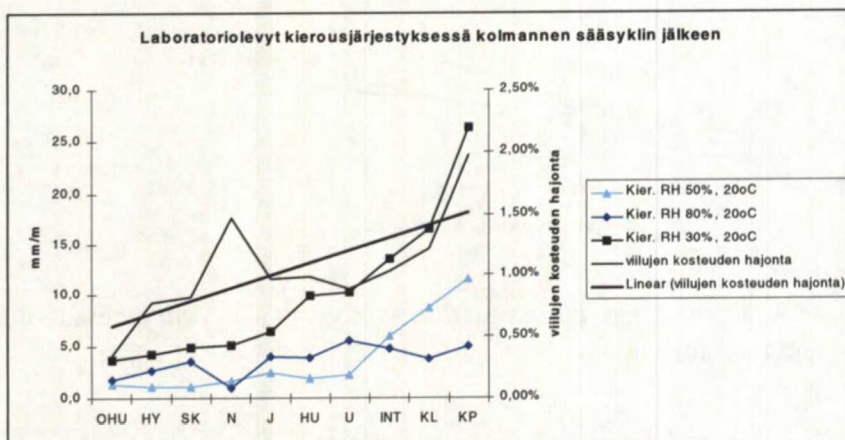
Kuvassa 90 on esitetty laboratoriokoelevyryhmien kierous sääsyklityksessä viilun kosteuden hajonnan funktiona.





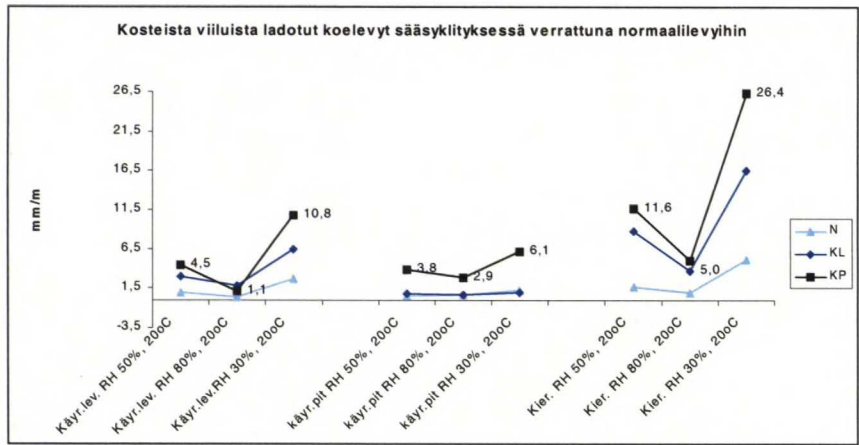
Kuva 90 Laboratoriolevyjen kierous sääsyklityksessä viilun kosteuden hajonnan funktiona.

Kuvassa 91 ovat laboratorioleikoiden eri levyryhmät viimeisen sääsyklin jälkeisessä kierousjärjestyksessä. Kaikkein kierompia ovat levyt (KP), joissa pintaviiluilla oli noin 4 %:n kosteusero. Seuraavaksi kieroimpia ovat levyt (KL), joissa 1. ja 4. Liimaviilun välillä oli noin 4 %:n kosteusero. Kieroimpia ovat siis, aivan kuten edellä, levyt, joiden viilukerroksissa on eri kosteuksisia viiluja.



Kuva 91 Laboratorioleikoiden eri levyryhmät viimeisen sääsyklin jälkeisessä kierousjärjestyksessä.

Kuvassa 92 on esitetty eri kosteuksisia viiluja sisältävien koelevyjen (KP ja KL) kierous ja käyryydet verrattuna normaalilevyihin (N) sääsyklityksessä. Kosteita pintaviiluja sisältävän ryhmän kieroudet ovat pienimmillään noin viisin- ja suurimmillaan noin seitsemänkertaisia normaalilevyihin verrattuna. Leveyssuuntaisten käyryyksien ero on näiden kahden ryhmän välillä pienimmilläänkin noin kolmikertainen.

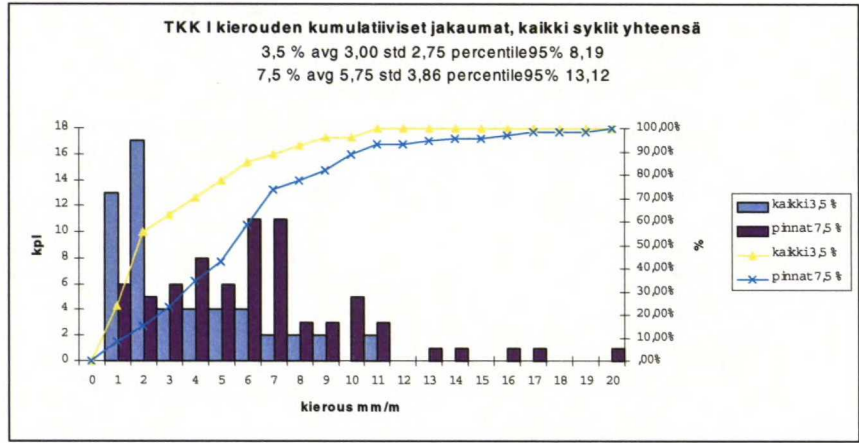


Kuva 92 Eri kosteuksisia viiluja sisältävien koelevyjen (KP ja KL) käyryydet ja kierous verrattuna normaalilevyihin (N) sääsyklityksessä.

5.2.3. Viilun kosteuden ja vinosyisyyden vaikutus vanerin käyritymiseen

Vanerin käyrityminen –projektin loppuraportin käyritymäkokeissa tutkittiin VTT:llä valmistettujen laboratoriolevyjen ja I vaiheen tehdaslevyjen valmistuksen jälkeisiä muodonmuutoksia vaihtuvissa olosuhteissa. I vaiheen (kuvissa TKK I) levyillä tutkittiin viilun kosteuden vaikutusta ja II vaiheen (kuvassa TKK II) levyillä tutkittiin viilun vinosyisyyden vaikutusta.

I vaiheen viilut oli sorvattu normaalisti eikä levyissä kiinnitetty erityistä huomiota viilujen syiden suuntaan. Levyjä oli kahdenlaisia, joista toisessa kaikki viilut oli tasaannutettu 3,5 %:n kosteuteen ja toisessa kahteen päällimmäiseen viilukerrokseen käytetyt viilut oli tasaannutettu 7,5 %:n kosteuteen.



Kuva 93 Kierouden jakaumat I vaiheen kahden eri tyypin levyille.

Kuvassa 93 on esitetty I vaiheen levytyyppien kierouden jakaumat. Mukana ovat kaikkien 11 mittauskerran (eri sääsykliä jälkeiset) kieroustulokset. Kuten



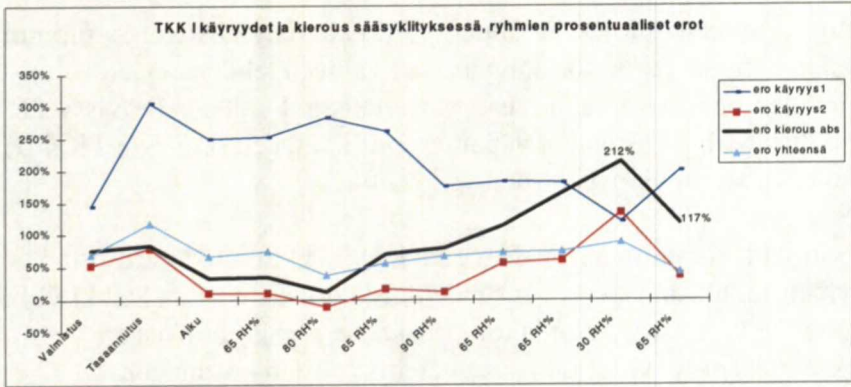
Kasper Sokka

edellisessä luvussa Tarvaisen tuloksia tarkasteltaessa havaitaan, että kostealla pintaviilulla on selkeä vaikutus käyristymiseen. Kuvassa 94 on esitetty käyryyksien ja kierouden prosentuaaliset erot sääsyklityksessä kahden eri levytyypin välillä (kaikki viilut 3,5 % tai kaksi päällimmäistä 7,5 %).

Taulukko 4 I vaiheen levytyyppien käyryyksien ja kierouden t-testit sääsyklityksessä.

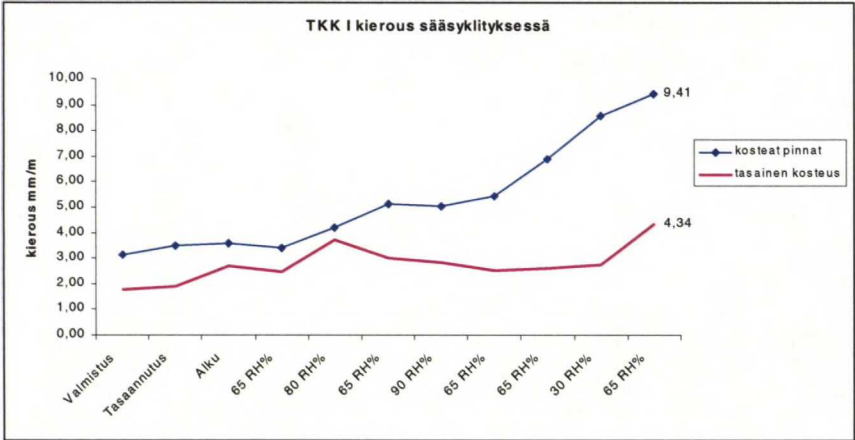
	Valmistus	Tasaannutus	Alku							
käyryys1										
käyryys2										
kierous abs										
	Alku	65 RH%	80/30 RH%	65 RH%	90/65 RH%	65/90 RH%	65 RH%	30/90 RH%	65 RH%	YHTEENSÄ
käyryys1										
käyryys2										
kierous abs										
									0.53	

Taulukossa 4 on esitetty t-testien tulokset ryhmien käyryyksien ja kierouden välillä. Käyryys 1 tarkoittaa pintaviilun syysuuntaista ja käyryys 2 syiden vastaista käyryyttä. Tilastollisesti merkittävä ero on merkitty sinisellä solulla. Levytyyppien syysuuntainen käyryys koko sääsyklityksen ajan ja kierous syklityksen loppupuolella eroavat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.



Kuva 94 I vaiheen levytyyppien käyryyksien ja kierouden prosentuaaliset erot sääsyklityksessä.

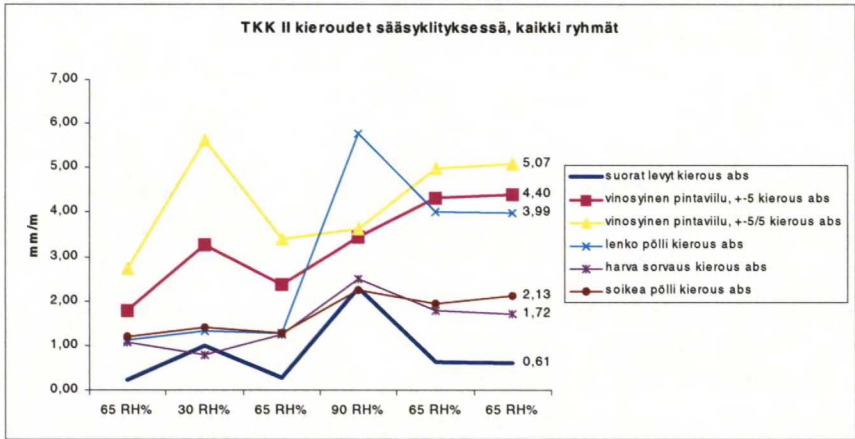
Kuvassa 95 on esitetty I vaiheen kahden eri levytyypin kieroudet (mm/m) sääsyklityksessä.



Kuva 95 I vaiheen levytyyppien kierous sääsyklityksessä

Kaikki II vaiheen levyt oli valmistettu oikaistuista viiluista. Vinoviilurakenteissa oli yksi tai kaksi päällimmäistä viilua 5° vinossa.

Kuvassa 96 on esitetty II vaiheen eri levytyyppien kieroudet sääsyklityksessä. Kaikken eniten ovat käyristyneet levyt, joiden pintaviilut olivat vinosyisiä.



Kuva 96 II vaiheen eri levytyyppien kieroudet sääsyklityksessä.

Taulukko 5 Oikaistujen viilujen määrä rakenteesta (9 ply).

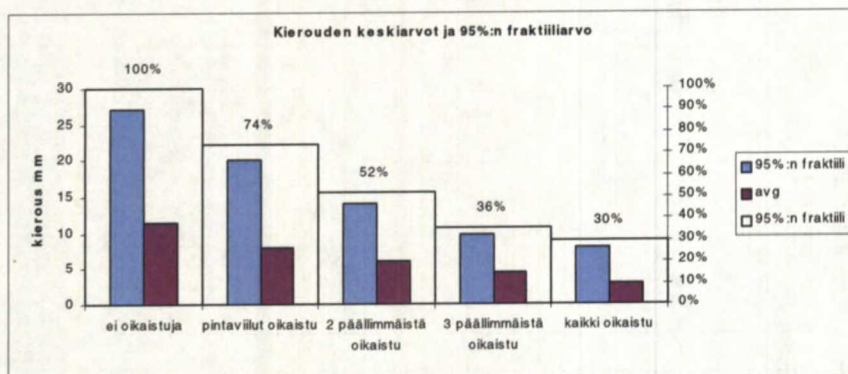
1,5 mm koivuviilut, 9 ply	ei oikaistuja	pintaviilut oikaistu	2 päällimmäistä	3 päällimmäistä	kaikki
pinta		X	X	X	X
liimaviilu			X	X	X
kuiva keskimmäinen				X	X
liimaviilu					X
kuiva keskimmäinen					X
liimaviilu				X	X
kuiva keskimmäinen				X	X
liimaviilu			X	X	X
pinta		X	X	X	X

Taulukossa 5 on esitetty oikaistujen viilujen määrä 9 ply rakenteesta. Taulukko liittyy kuvaan 97, jossa on esitetty teoreettiset kierouden 95%:n fraktiiliarvot ja



Kasper Sokka

keskiarvot suhteessa oikaistujen viilujen määrään Monte-Carlo simulaatioiden perusteella. Käytetty kosteusmuutos laskennassa oli 9 %.



Kuva 97 Oikaistujen viilujen määrän vaikutus kierouteen.<sup>189</sup>

### 5.3. TEHDASKOKEIDEN AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämän tutkimuksen aikana suoritettiin tehdaskokeita ureaformaldehydiliimattujen stanssivaneiden käyristymiseen ja kieroutumiseen vaikuttavista tekijöistä. Ensimmäinen tutkittiin viilun kosteuden, liimanlevityksen ja levyn rakenteen vaikutusta. Tämän jälkeen tutkittiin pöllimitan ja pinnoituksen vaikutusta.

#### I tehdaskoe

Ensimmäisen tehdaskokeen tarkoituksena oli tutkia viilun kosteuden, liimanlevitystavan ja levyn rakenteen vaikutusta käyristymiseen.

Kokeessa käytettiin  $2^3$  faktorikoematriisia. Kahdeksalla koeajolla tutkittiin kolmen eri muuttujan vaikutusta käyristymiseen. Muuttujia vaihdeltiin kahdella eri tasolla. Muuttujiksi valittiin levyn rakenne, viilujen kosteus(hajonta) ja liimaustapa. Levyn rakenne tarkoittaa tässä tapauksessa levyn sisäviilujen rakennetta. Puolet levyistä ladottiin ehjillä sisäviiluilla ja toisessa puolessa levyistä sisäviilut oli saumattu maksimissaan 32 cm:stä jonteista. Kaikki viilut sorvattiin samalla kertaa ja osa viiluista säilytettiin muovissa viikon verran, näin koeviilujen kosteustasoihin ja -hajontoihin pyrittiin saamaan eroja. Liimaus suoritettiin neljälle koe-erälle normaalisti eli kaksipuoleisena telalevityksenä ja neljälle koe-erälle yksipuoleisena käyttäen liimanlevitykseen vain alatelaa.

Koeviilut olivat 1,5 mm:n koivuviiluja. Levyt liimattiin mitassa 15 x 1600 x 1600 mm, joka mahdollisti yksipuoleisen valssilevityksen. Levyjä liimattiin yhteensä yksi puristimellinen/koe-erä eli yhteensä 240 kappaletta.

<sup>189</sup> Koponen, S., s.69, kuva 5.27

Taulukko 6 Faktorikokeen koesuunnitelma.

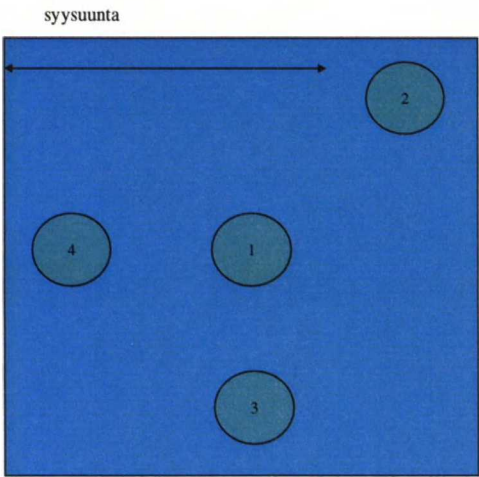
KOESUUNNITELMA

	A	B	C				
Koe	x1	x2	x3	x1x2	x1x3	x2x3	x1x2x3
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
2	1	1	1	1	1	1	1
3	-1	1	1	-1	-1	1	-1
4	1	-1	1	-1	1	-1	-1
5	1	1	-1	1	-1	-1	-1
6	1	-1	-1	-1	-1	1	1
7	-1	1	-1	-1	1	-1	1
8	-1	-1	-1	1	1	1	-1

A = rakenne; rikottu/normaali  
B = viilujen kosteus (hajonta); tasaannutettu/normaali  
C = liimaus; 1-puoleinen liimanlevitys/normaali 2-puoleinen

	RAKENNE	KOSTEUS	LIIMAUS
Koe	x1	x2	x3
1	EHJÄ	EI MUOVIA	1-PUOLEINEN
2	COMPOSER	MUOVISSA	1-PUOLEINEN
3	EHJÄ	MUOVISSA	1-PUOLEINEN
4	COMPOSER	EI MUOVIA	1-PUOLEINEN
5	COMPOSER	MUOVISSA	2-PUOLEINEN
6	COMPOSER	EI MUOVIA	2-PUOLEINEN
7	EHJÄ	MUOVISSA	2-PUOLEINEN
8	EHJÄ	EI MUOVIA	2-PUOLEINEN

Ladonnassa seurattiin viilun kosteutta, liimanlevityksen tasaisuutta ja liimaseoksen viskositeettia, lämpötilaa ja kuiva-ainepitoisuutta. Viilunkosteuden näytepalat otettiin erikseen pinnoille, kuiville keskimmaisille ja liimaviiluille kahden sivun keskeltä, yhdestä kulmasta ja keskeltä viilua. Kosteuspalat otettiin jokaisen kokeen alussa, kahdesti sen kuluessa ja kokeen lopussa. Kosteudet mitattiin punnitus-kuivatus menetelmällä.



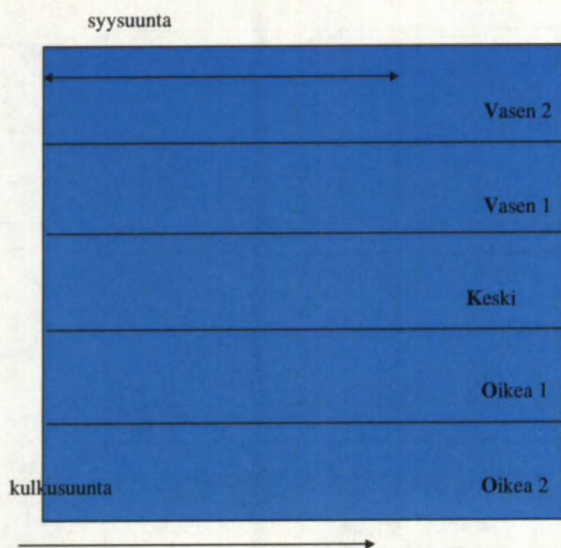
Kuva 98 Kaaviokuva viilunkosteuden koepalojen paikoista ja numeroinnista.

Liimanlevitystä seurattiin erikseen ylä- ja alapinnoille jokaisen kokeen alussa, kahdesti sen kuluessa ja kokeen lopussa. Seuranta tapahtui ennakkoon viiteen



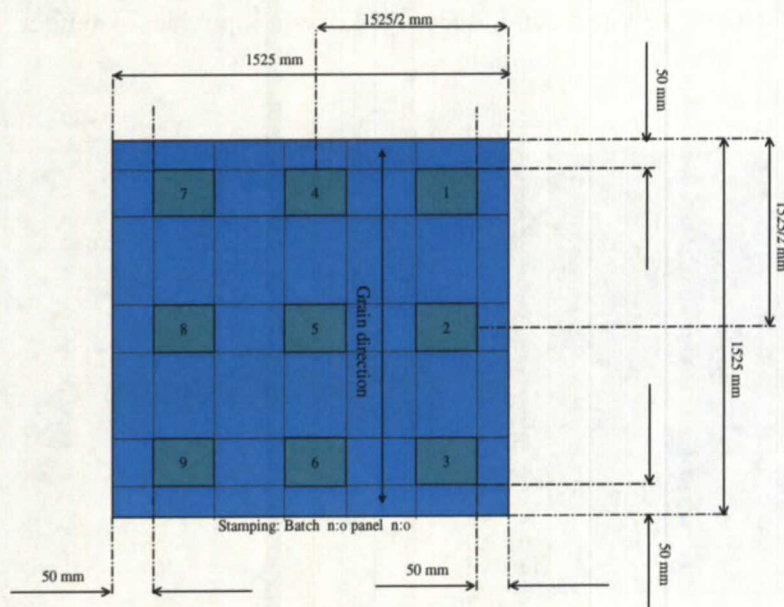
Kasper Sokka

kappaleeseen sahatuilla ja punnituilla viiluilla. Suikaleet numeroitiin **O2**, **O1**, **K**, **V1** ja **V2**. Punnitus ja tulosten kirjaus tapahtui välittömästi.



Kuva 99 Kaaviokuva liimanlevityksen seurantapalojen mittauksia varten.

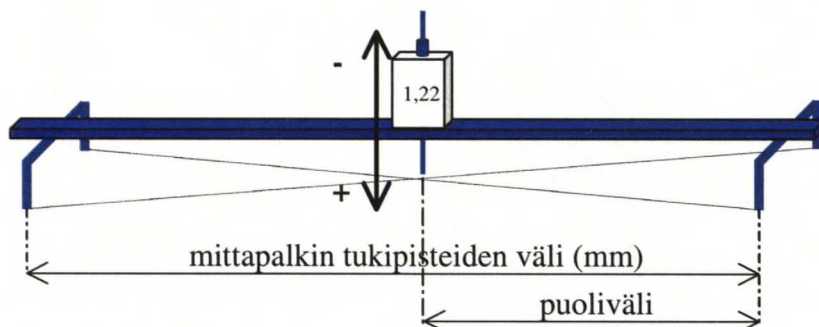
Aihoiden kosteudet mitattiin kahdesta levystä/koe-erä kuumapuristuksen ja yhden viikon varastoinnin jälkeen keskeltä kaikkia sivuja, kaikista kulmista ja keskeltä aihiota. Kosteuden näytepalat numeroitiin 1-9 ja niihin merkattiin kokeen numero 1-8. Palat vietiin välittömästi punnittavaksi, jonka jälkeen ne kuivattiin absoluuttisen kuiviksi ja punnittiin uudelleen.



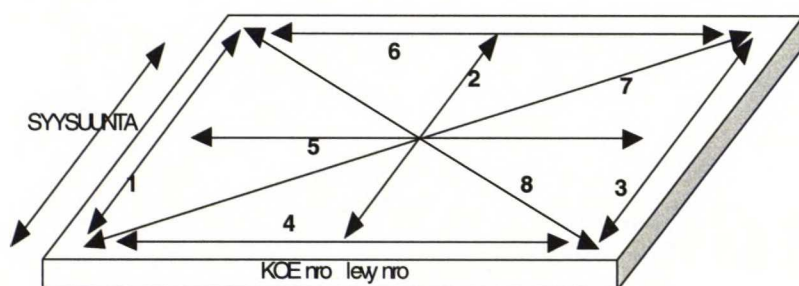
Kuva 100 Kaaviokuva kosteuspalojen sahaamisesta ja numeroimisesta valmiista levyistä.

Kasper Sokka

Kieroudet ja käyryydet mitattiin heti puristuksen jälkeen ja viikon varastoinnin jälkeen. Mittapalkin jänneväli oli 1200 mm.



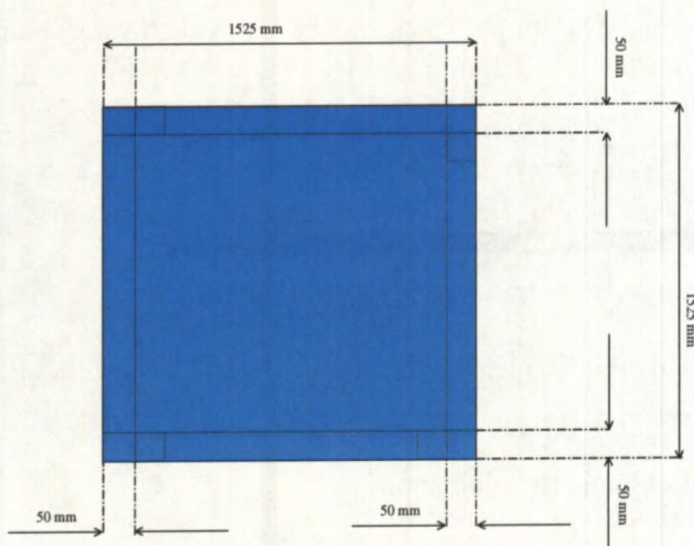
Kuva 101 Mittapalkkiin kiinnitetty mitta-anturi.



Kuva 102 Kierous- ja käyryysmittalinjat ja niiden numerointi.

Lisäksi tehtaalle hankittiin dataloggereita, joilla mitattiin ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Mittapisteitä oli viisi: saumaus, ladonta, viimeistely, varasto ja ulkoilma. Kun koelevyjen mittaukset tehdaspaikkakunnalla saatiin loppuun, 80 levyä (10/koe-erä) lähetettiin lakattavaksi Lahden tehtaalle. Lakattu levyerä lähetettiin edelleen Lahdesta Manchesteriin asiakkaalle ja koelevypallettiin pakattiin mukaan yksi dataloggeri. Palletin päällyslevyksi otettiin 24 mm:n vaneri, johon tehtyyn reikään loggeri upotettiin. Asiakaskäynnin yhteydessä Manchesterissä kaikki koelevyt tarkastettiin silmämääräisesti ja 16:sta levystä otettiin kosteuspalat levyjen kulmista.





Kuva 103 Kaaviokuva kosteusnäytepalojen sahaamisesta Manchesterissä.

## II tehdaskoe

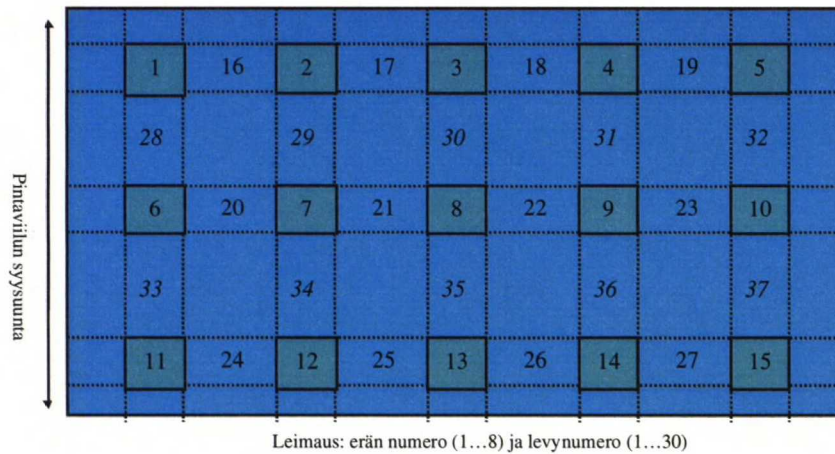
Toisen tehdaskokeen tarkoituksena oli tutkia pöllimitan ja pinnoituksen sekä ponnoitettujen levyjen välivarastointiajan vaikutusta käyristymiseen.

Jatkokokeessa liimattiin 120 levyä mitassa 15 x 1300 x 2600 ja saman verran mitassa 15 x 1600 x 2600. Yhteensä liimattiin siis 240 levyä. Levyistä 30 kappaletta sekä 50" että 60" mitassa jätettiin koivupintaisiksi (DIE BB/BB). 60 levyä lähetettiin ensimmäisten mittauksen jälkeen Lahteen lakattavaksi (DIE green). 60 pinnoitettiin ennen ensimmäisiä mittauksia melamiinikalvolla (DIE transparent) ja 60 jätettiin tasaantumaan noin kahdeksi viikoksi ennen pinnoitusta (DIE transparent, 2 vkoa).

Taulukko 7 Koematriisi DIE tuoteperheen levyille.

	50"	60"
DIE BB/BB	30	30
DIE green	30	30
DIE transparent	30	30
DIE transparent, 2 vkoa	30	30

Liimauksessa seurattiin viilunkosteutta kuten faktorikokeessa. Liimanlevityksen tasaisuutta seurattiin myös muuten kuten edellä, mutta ei erikseen ylä- ja alatelalta. Kosteuspalat otettiin viidestä levystä/koe-erä heti kuumentamisen jälkeen, 2 viikon ja edelleen 4 viikon kuluttua valmistuksesta.



Kuva 104 Kaaviokuva kosteus- ja lujuuskoepalojen sahaamista ja numerointia varten.

1-12 kosteuspalat viidestä levystä/ryhmä

16-27 taivutuslujuuskappaleet syitä vastaan viidestä levystä/ryhmä

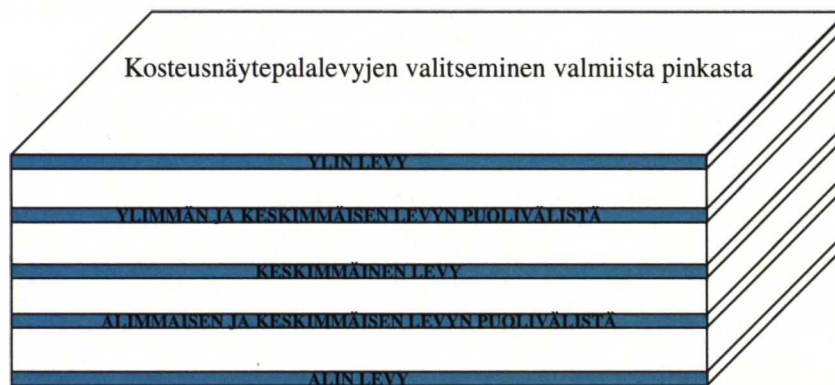
28-37 taivutuslujuuskappaleet syysuunta viidestä levystä/ryhmä

kosteuspalat 50 mm reunasta, palojen koko 50 mm x 50 mm

taivutuslujuuskappaleet 50 mm x 350 mm

28-37 liimasauman poikittaisvetokappaleet viidestä levystä/ryhmä

liimasauman poikittaisvetolujuuskappaleet 25 mm x 150 mm

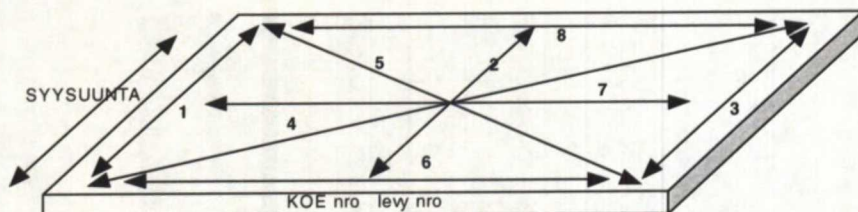


Kuva 105 Kosteusnäytepalalevyjen valitseminen valmiista pallelta

Tämän lisäksi puristuksen jälkeisellä mittakerralla otettiin kosteuspalalevyistä koestuskappaleet taivutusjäykkyyksien ja liimasauman poikittaisvetolujuuksien tutkimiseksi. Nämä koestukset suoritettiin Kuopion tehtaalla.

Kieroudet ja käyryydet mitattiin heti puristuksen jälkeen, 2 viikon varastoinnin jälkeen ja 4 viikon varastoinnin jälkeen. Mittapalkin jänneväli oli lyhyillä sivuilla 1120 mm ja pitkällä sivuilla ja kierouksien mittauksissa 2340 mm.





Kuva 106 Kierous- ja käyryysmittalinjat ja niiden numerointi.

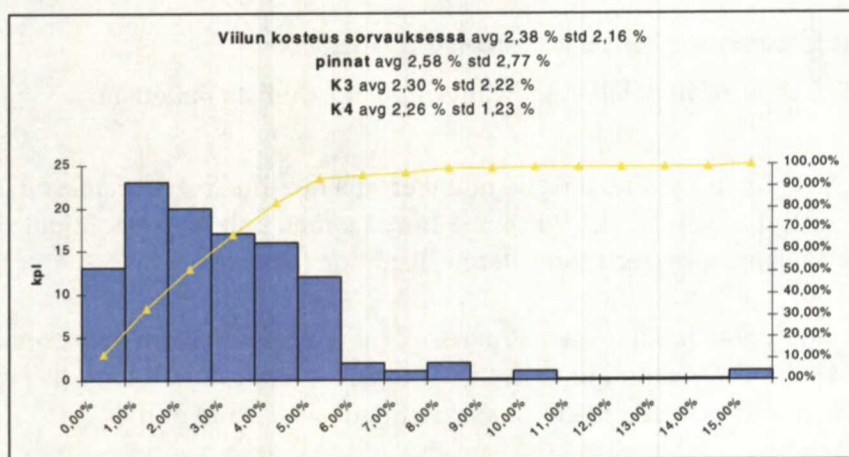
Käytössä olivat myös dataloggerit, joilla mitattiin ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Mittapisteitä oli edelleen samat viisi: saumaus, ladonta, viimeistely, varasto ja ulkoilma.

#### 5.4. VIILUN KOSTEUDEN, LIIMANLEVITYKSEN JA LEVYN RAKENTEEN SEKÄ KOSTEUDEN VAIKUTUS KÄYRISTYMISEEN

Kahdeksalla koe-erällä tutkittiin kolmen eri muuttujan vaikutusta käyristymiseen. Muuttujia vaihdeltiin kahdella eri tasolla. Muuttujiksi valittiin levyn rakenne, viilujen kosteus(hajonta) ja liimaustapa. Levyn rakenne tarkoittaa tässä tapauksessa levyn sisäviilujen rakennetta. Puolet levyistä ladottiin ehjillä sisäviiluilla ja toisessa puolessa levyistä sisäviilut oli saumattu maksimissaan 32-35 cm:stä jonteista. Kaikki viilut sorvattiin samalla kertaa ja osa viiluista säilytettiin muovissa viikon verran, näin koeviilujen kosteustasoihin ja –hajontoihin saatiin selviä eroja. Liimaus suoritettiin neljälle koe-erälle normaalisti eli kaksipuoleisena telalevityksenä ja neljälle koe-erälle yksipuoleisena käyttäen liimanlevitykseen vain alatelaa.

Koeviilut olivat 1,5 mm:n koivuviiluja. Levyt liimattiin mitassa 15 x 1600 x 1600 mm, joka mahdollisti yksipuoleisen valssilevityksen. Levyjä liimattiin yhteensä yksi puristimellinen/koe-erä eli yhteensä 240 kappaletta

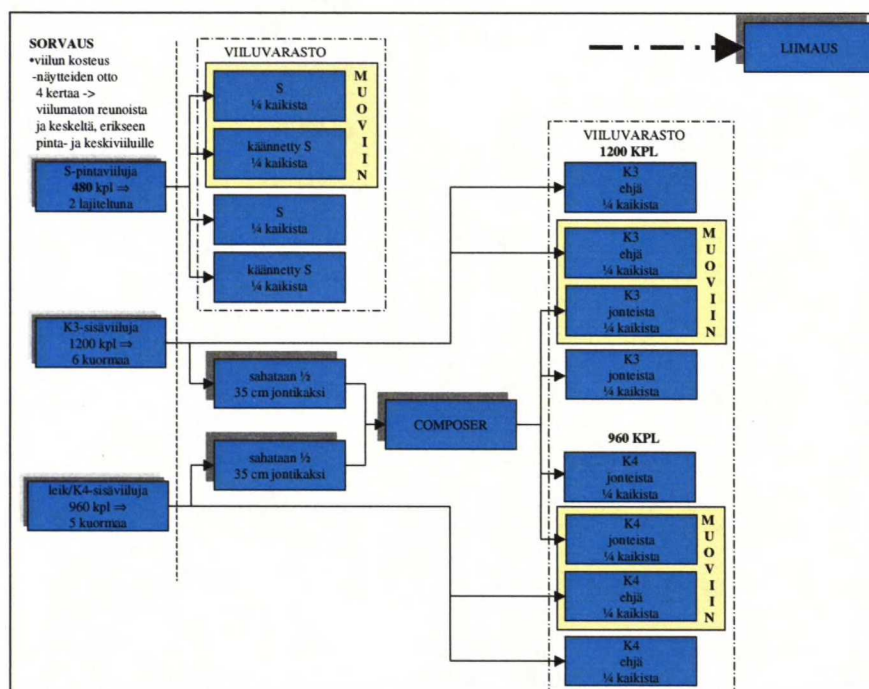
##### 5.4.1. Viilun kosteus kuivaajan jälkeen ja ladonnassa



Kuva 107 Viilun kosteus sorvauksessa (keskiarvo=average=avg, keskihajonta=standard deviation=std).

Kuvassa 107 esitetty viilujen kosteusjakauma verkkokuivaajan jälkeen. Viilulaaduista pinnat ovat kuivauksen jälkeen kosteampia, niiden kosteushajonnan ollessa myös korkeampi. Kuvassa 109 on esitetty viilun kosteus liimauksessa.

Yksi kolmesta kahdella tasolla vaihdeltavasta muuttujasta oli viilun kosteus(hajonta) ja siksi puolet viiluista oli varastoitu muoviin. Levyjä liimattiin 30 kpl/KOE, eli yhteensä 240 kappaletta. Pintaviiluja tarvittiin siis 480 kpl, liimaviiluja 1200 kpl ja kuivia keskimmäisiä 960 kpl. Koska ladonta tapahtui asemalla 1, puolet pintaviiluista oli käännettävä (alapinta). Edelleen puolet sekä käännettävistä että kääntämättömistä pintaviiluista pakattiin muoviin. Kuvassa 108 on esitetty viilun tarve sorvauksesta ja niiden varastointi. Välivarastointi ennen liimausta oli viikon mittainen. Kaikki kokeisiin varatut viilut jaettiin ennen varastointia ja muovin paketoitua omille lavoilleen. Pintaviiluja oli noin 120 kappaletta/lava, liimaviiluja noin 300 kpl/lava ja kuivia keskimmäisiä 240 kpl/lava.



Kuva 108 Faktorikokeen levyihin sorvatut viilut ja niiden varastointi.

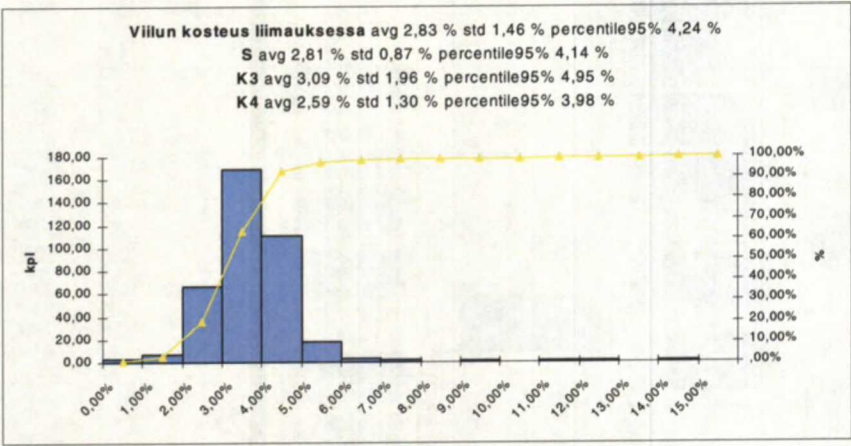
Viilujen varastointi muovissa viikon ajan ei ollut riittävän pitkä aika tasaannuttamaan viilujen kosteuksia koeviilupinkoissa. Tämän lisäksi kuormat olivat eri kokoisia, joten ne tasaantuivat eri tavalla (S 120 viilua/kuorma, K3 300 viilua/kuorma). Tämä näkyy selvästi taulukosta 8, jossa on esitetty viilun kosteus ja -hajonta heti kuivaajan jälkeen ja liimauksessa 1 viikon varastoinnin jälkeen.



Taulukko 8 Viilun kosteus kuivaajan jälkeen ja viikon varastoinnin jälkeen liimauksessa (keskiarvo=average=avg, keskihajonta=standard deviation=std).

		varastointi			
		kuivaaja	liimaus	ei muovia	muovissa
pinnat (S)	avg	2.58%	2.81%	2.63%	3.00%
	std	2.77%	0.87%	0.95%	0.73%
K3	avg	2.30%	2.86%	2.99%	2.69%
	std	2.22%	0.95%	1.14%	0.70%
K4	avg	2.26%	2.52%	2.58%	2.46%
	std	1.23%	1.02%	1.22%	0.79%
yhteensä	avg	2.38%	2.72%	2.73%	2.72%
	std	2.16%	0.96%	1.12%	0.77%

Viilun kosteus(hajonta) muuttujana sekoittaa tilastollisia analyysyjä sekoituessaan kahteen muuhun dummy –muuttujaan LIIMAUS ja RAKENNE. Alunperin ajatuksena oli käyttää lineaarista regressiota tulosten analysointiin ja näin on osin tehtykin. Apuna on kuitenkin käytetty alkuperäisten muuttujien jaottelua muuttujan tason mukaan ryhmiin ja mahdollisten tilastollisten erojen etsimistä t-testein.

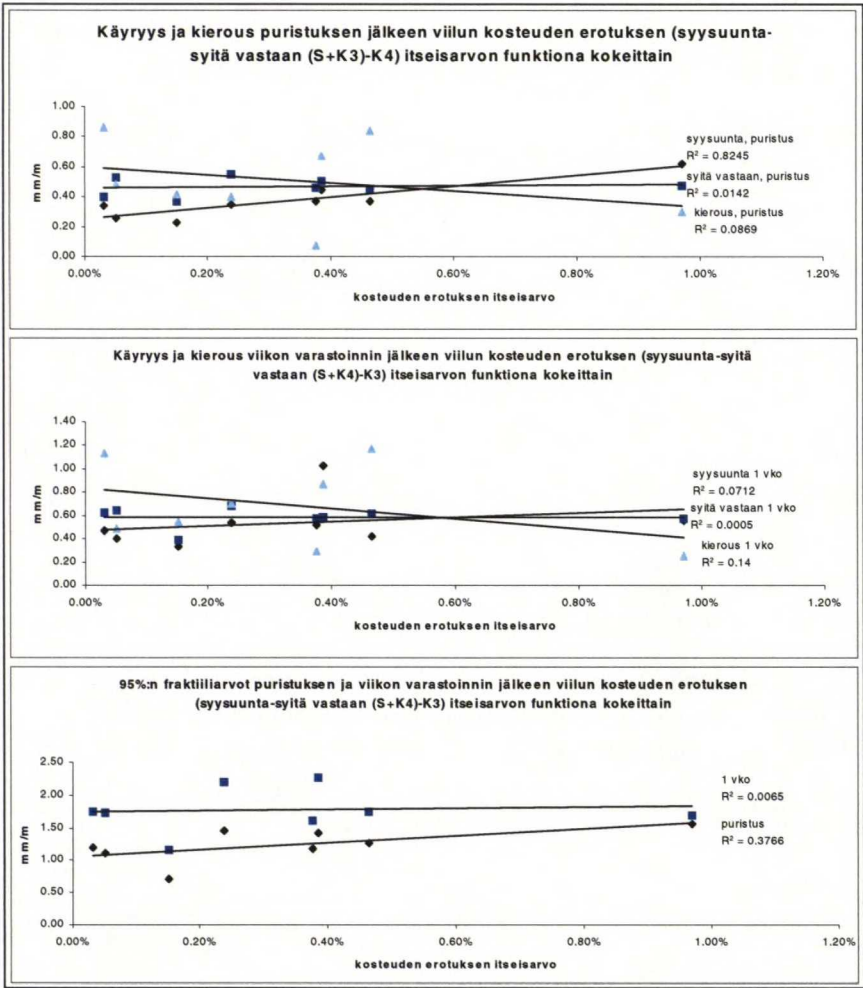


Kuva 109 Viilun kosteus liimauksessa.

5.4.2. Viilujen kosteuden vaikutus käyristymiseen

Kuvassa 110 on esitetty levyjen käyryydet ja kierous puristuksen ja viikon varastoinnin jälkeen viilujen kosteuden erotuksen itseisarvon funktiona kokeittain. Viilujen kosteuden erotus on laskettu eri viilukerrosten keskiarvojen erotuksen itseisarvona kokeittain. Ensin on laskettu pintaviilun syysuuntaisten viilujen (tässä S ja K4) kosteuden keskiarvo, josta sitten on vähennetty pintaviilun syiden vastaisten viilujen (tässä K3) kosteuden keskiarvo. Lopuksi on vielä esitetty kaikkien mittapisteidn 95%:n fraktiiliarvot puristuksen ja viikon varastoinnin jälkeen viilun kosteuden erotuksen itseisarvon funktiona kokeittain. Puristuksen jälkeen syysuuntainen käyryys ja 95%:n fraktiiliarvot korreloivat viilujen kosteuden erotuksen itseisarvojen kanssa. Kosteuden erotuksen itseisarvon, eli

pintaviilun syysuuntaisten ja syitä vastaan olevien viilukerrosten kosteuseron, kasvaessa, käyristyminen kasvaa.

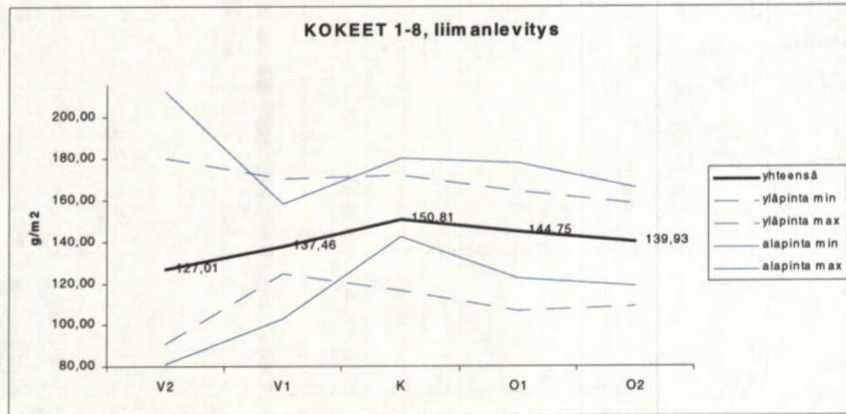


Kuva 110 Käyryys ja kierous sekä 95%:n fraktiiliarvot viilujen kosteuden erotuksen itseisarvon funktiona kokeittain.



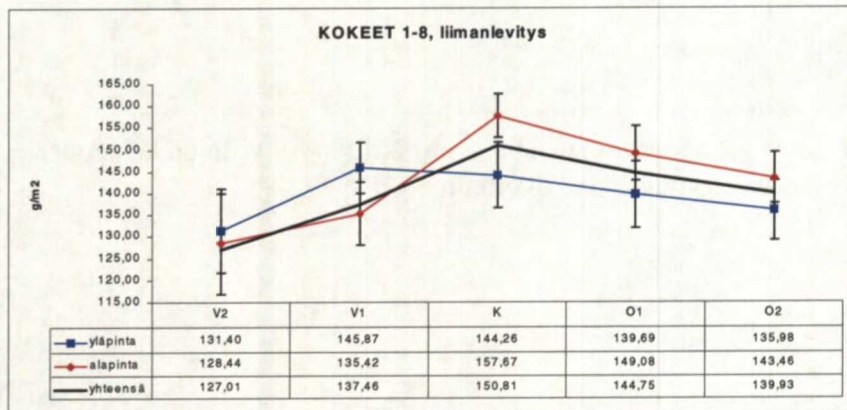
### 5.4.3. Liimanlevitys

Kuvassa 111 on esitetty kaikkien kokeiden liimanlevitys yhteensä, sekä minimi- ja maksimi-arvot erikseen ylä- ja alatelalle. Kuvassa 112 on esitetty ylä- ja alatalan kaikkien kokeiden keskiarvot ja hajonnat valssin pituussuunnassa.



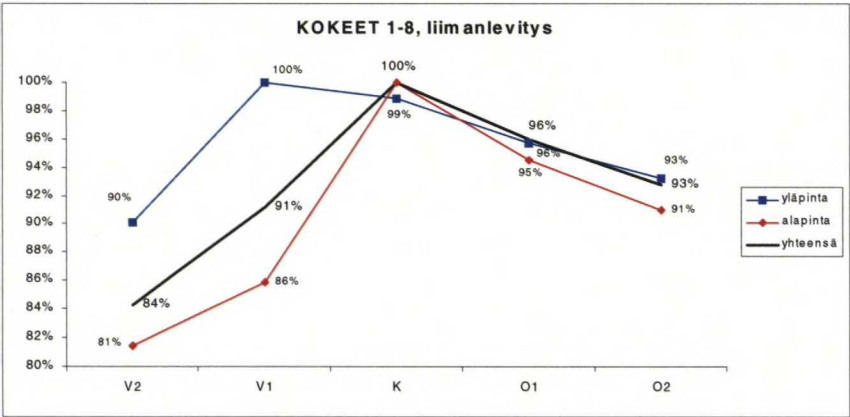
Kuva 111 Kaikkien kokeiden liimanlevitys ylä- ja alatelalla sekä ylä- ja alatalan minimi- ja maksimiarvot.

Valssin suunnassa liimaviilun keskiosan liimanlevitys on keskimäärin huomattavasti suurempi kuin reunojen. Sekä ylä- että alatelalla on selvästi nähtävissä sama ilmiö. Valssin vasemman reunan hajonta on myös huomattavasti suurempaa kuin keskiosan tai oikean reunan



Kuva 112 Kaikkien kokeiden liimanlevityksen keskiarvot ja hajonnat ylä- ja alatelalla sekä yhteensä.

Kuvassa 113 on esitetty ylä- ja alatelan kaikkien kokeiden keskiarvoista laskettu prosentuaalinen liimanlevitys eri kohdin valssia.

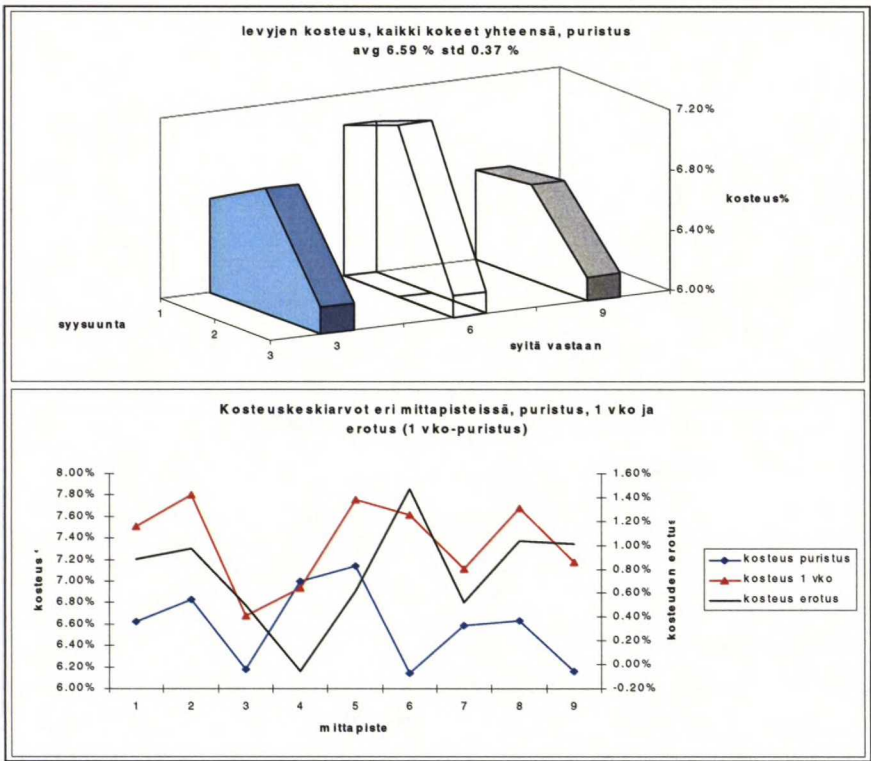


Kuva 113 Kaikkien kokeiden liimanlevitys ylä- ja alatelalla sekä yhteensä.

5.4.4. Levyjen kosteus ja kosteuden muutos

Koelevyistä otettiin kosteuspalat kahdesta levystä/koe-erä, eli yhteensä 18:sta levystä. Kosteuspaloja otettiin yhdeksän kappaletta/levy (kuva 100).

Kuvassa 114 on esitetty keskimääräinen levyn kosteus mittapisteittäin puristuksen ja yhden viikon varastoinnin jälkeen sekä kosteuden muutos varastoinnin aikana.



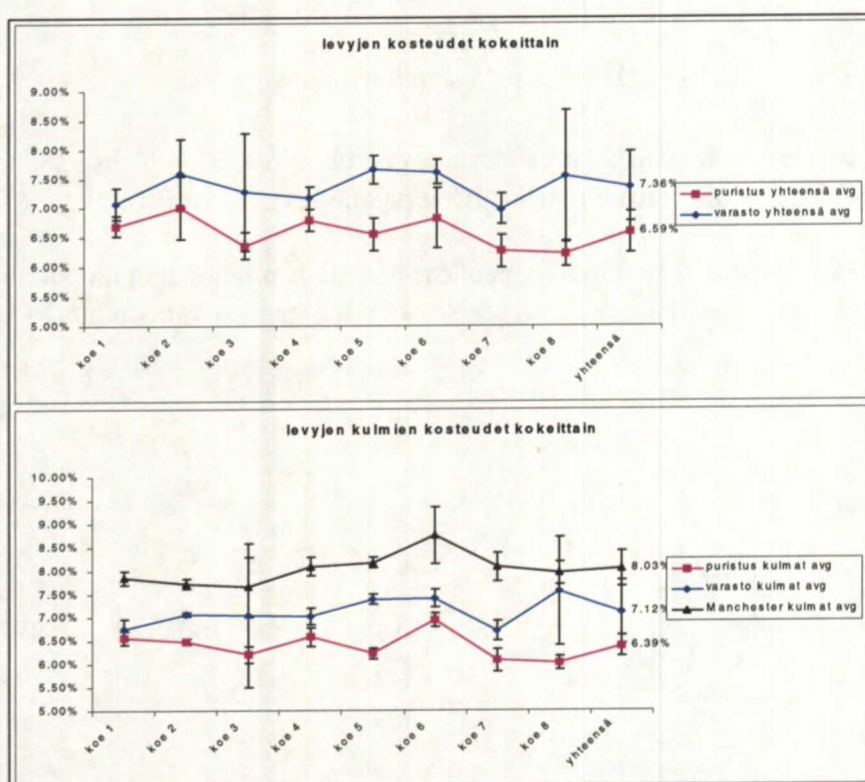
Kuva 114 Vanerin kosteus puristuksen ja yhden viikon varastoinnin jälkeen sekä kosteuden erotus.



Kasper Sokka

Puristuksen jälkeen vanerin keskikosteus oli 6,59 % ja kosteuden hajonta 0,37 %. Viikon varastoinnin jälkeen kosteus oli 7,36 % hajonnan ollessa 0,40 %. Keskimäärin levyt siis kostuivat 0,77 prosenttiyksikköä.

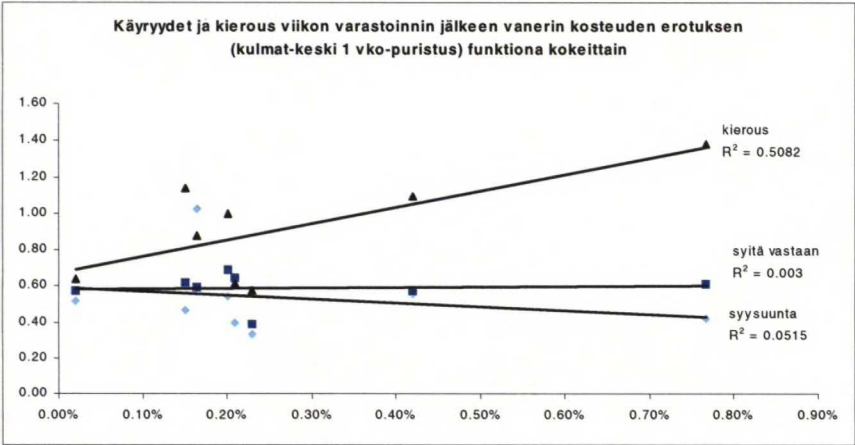
Asiakaskäynnillä Manchesterissa ei ollut mahdollisuutta ottaa kosteuspaloja kaikista yhdeksästä kohdasta kuten aiemmin. Kosteuspalat otettiin kuitenkin levyjen kulmista. Kuvassa 115 on esitetty levyjen kosteudet puristuksen ja viikon varastoinnin jälkeen sekä kulmien kosteudet puristuksen ja viikon varastoinnin jälkeen sekä asiakaskäynnin aikaan. Varastoinnin aikana levyjen kulmat kostuivat 0,73 prosenttiyksikköä ja kuljetuksen aikana levyjen kulmat kostuivat edelleen 0,91 prosenttiyksikköä. Kaiken kaikkiaan kulmien kosteuden muutos oli siis 1,64 prosenttiyksikköä.



Kuva 115 Levyjen ja levyn kulmien kosteudet.

#### 5.4.5. Levyjen kosteuden muutoksen vaikutus käyristymiseen

Kuvassa 116 on esitetty käyryydet ja kierous vanerin kulmien ja keskiosan kosteuden erotuksen itseisarvon muutoksen funktiona kokeittain. Kierous kokeittain koerrelloi selkeästi vanerin kosteuden erotuksen itseisarvon muutoksen kanssa. Mitä suuremmaksi levyn kulmien ja keskiosan kosteusero kasvaa, sitä enemmän levyt kieroutuvat.



Kuva 116 Käyryydet ja kierous viikon varastoinnin jälkeen vanerin kosteuden erotuksen funktiona kokeittain.

5.4.6. Ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja puun laskennallinen tasapainokosteus tehtaalla

Dataloggereilla mitattiin ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Mittapisteitä oli viisi: saumaus, ladonta, viimeistely, varasto ja ulkoilma. Kun koelevyjen mittaukset tehdaspaikkakunnalla saatiin loppuun, 80 levyä (10/koe-erä) lähetettiin lakattavaksi Lahden tehtaalle. Lakattu levyerä lähetettiin Manchesteriin asiakkaalle ja koelevypallettiin pakattiin mukaan yksi dataloggeri. Asiakaskäynnin yhteydessä Manchesterissä kaikki koelevyt tarkastettiin silmämääräisesti ja 16:sta levystä otettiin kosteuspalat.

Taulukossa 9 on esitetty koelevyihin liittyviä tuotanto- ja kuljetuspäivämääriä. Viilut sorvattiin 9. toukokuuta ja kokeet päätettiin asiakaskäyntiin Manchesterissä 26. kesäkuuta.

Taulukko 9 Kokeiden kannalta tärkeitä päivämääriä.

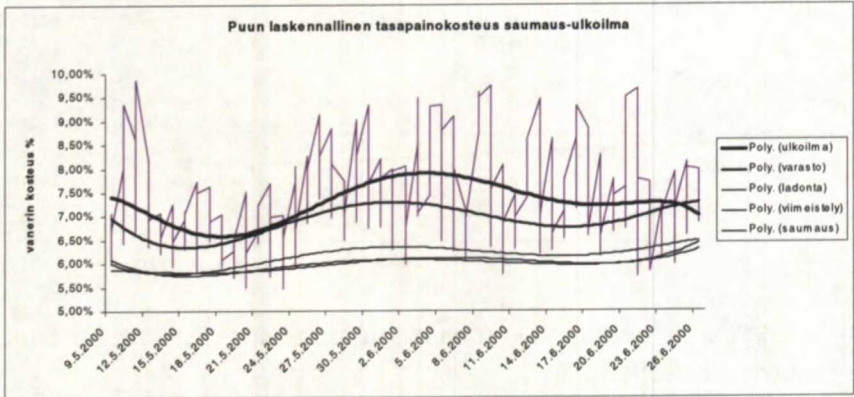
päivämäärä	tapahtuma
9.5.2000	viilujen sorvaus
18.5.2000	Composer -saumaus
25.5.2000	liimaus
26.5.2000	levyjen 1.käyryysmittaus
2.6.2000	levyjen 2. käyryysmittaus
5.6.2000	levyt Lahteen
8.6.2000	lakkaus, Lahti
13.6.2000	laiva closing, Hamina
16.6.2000	laivan lähtö, Hamina
20.6.2000	laivan saapuminen, Hull
26.6.2000	asiakaskäynti, Manchester

Kuvassa 117 on esitetty puun laskennallinen tasapainokosteus ulkoilmassa ja eri kohdissa tehdasta, laskettuna kaavalla 1 loggerien keräämästä datasta. Dataan on



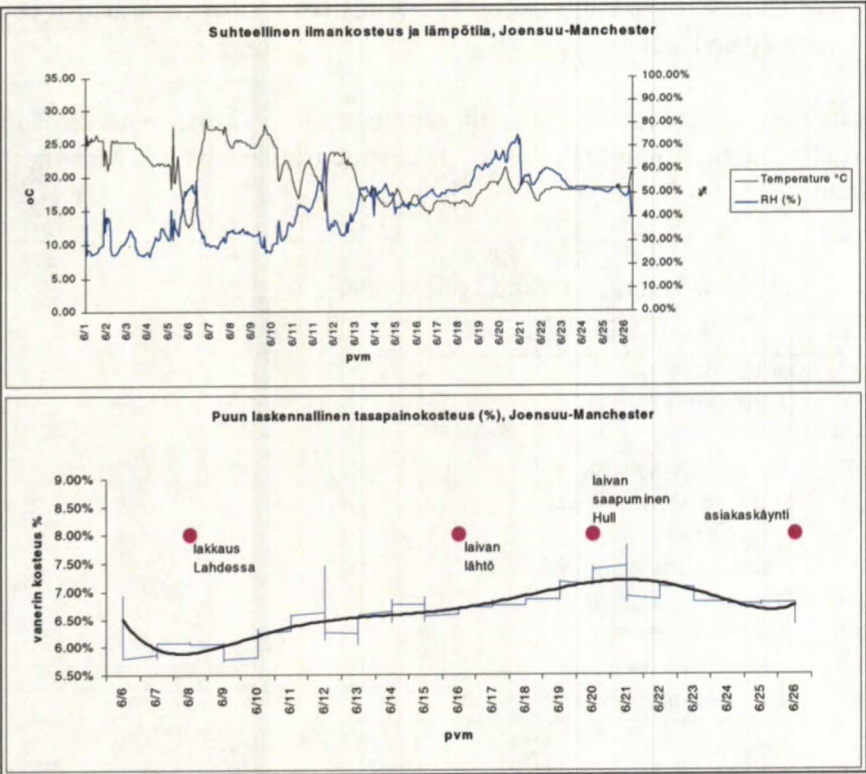
Kasper Sokka

sovitettu kuudennen asteen polynomeja trendiä kuvaamaan ja vertailun helpottamiseksi. Laskennallinen tasapainokosteus varastossa ja tehtaan sisällä seuraavat hyvin selvästi ulkoilmassa tapahtuvia muutoksia.



Kuva 117 Puun laskennallinen tasapainokosteuden muutos ulkoilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mukana.

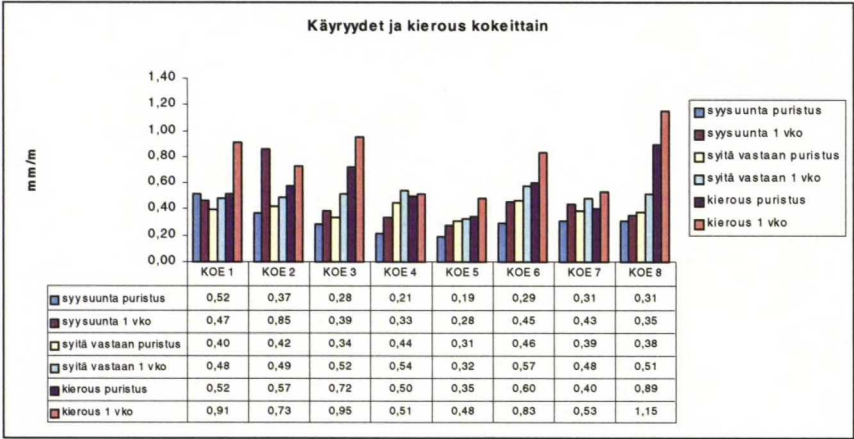
5. kesäkuuta koelevyt lähetettiin Lahteen lakattaviksi ja edelleen asiakkaalle lähetettäväksi. Laivan closing oli 13.6., lähtö 16.6. ja saapuminen Hullin satamaan 20.6.2000. Kuvassa 118 on esitetty koelevypalletin mukaan liitetyn dataloggerin mittaamasta ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta laskettu tasapainokosteus.



Kuva 118 Koelevyjen mukana olleen loggerin mittaamasta ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta laskettu puun tasapainokosteus.

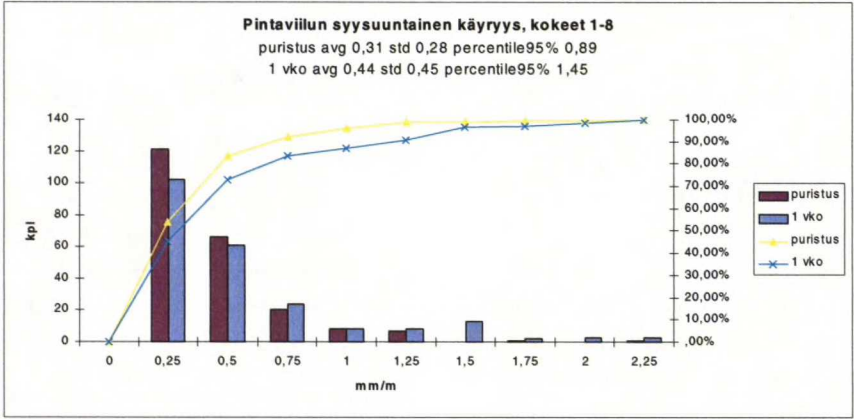
5.4.7. Levyjen käyryys ja kierous

Kuvassa 119 on esitetty käyryydet ja kieroudet kokeittain puristuksen ja yhden viikon varastoinnin jälkeen.



Kuva 119 Käyryydet ja kierous kokeittain puristuksen ja yhden viikon varastoinnin jälkeen.

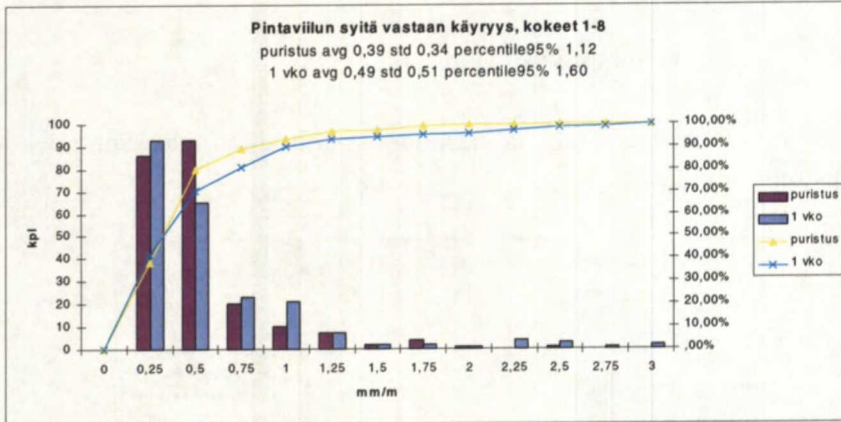
Kuvissa 120-122 on esitetty käyryyden ja kierouden jakaumat puristuksen ja yhden viikon varastoinnin jälkeen.



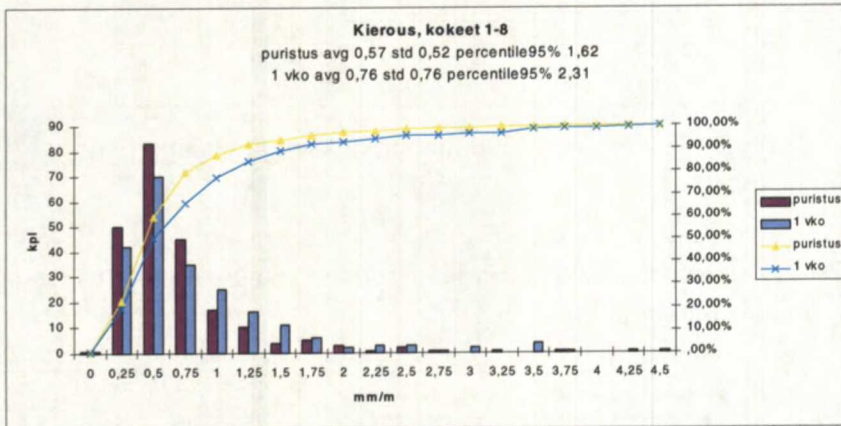
Kuva 120 Pintaviilun syysuuntaisen käyryyden jakauma puristuksen ja yhden viikon varastoinnin jälkeen.

Kuten kuvista 119-122 käy ilmi, käyryydet ja kierous ovat lisääntyneet viikon varastoinnin aikana. Kaikkien kokeiden syysuuntaisen käyryyden keskiarvo on kasvanut noin 40 %, syitä vastaan noin neljänneksellä ja kierous noin kolmanneksella.





Kuva 121 Käyryyden jakauma pintaviilun syitä vastaan puristuksen ja yhden viikon varastoinnin jälkeen.

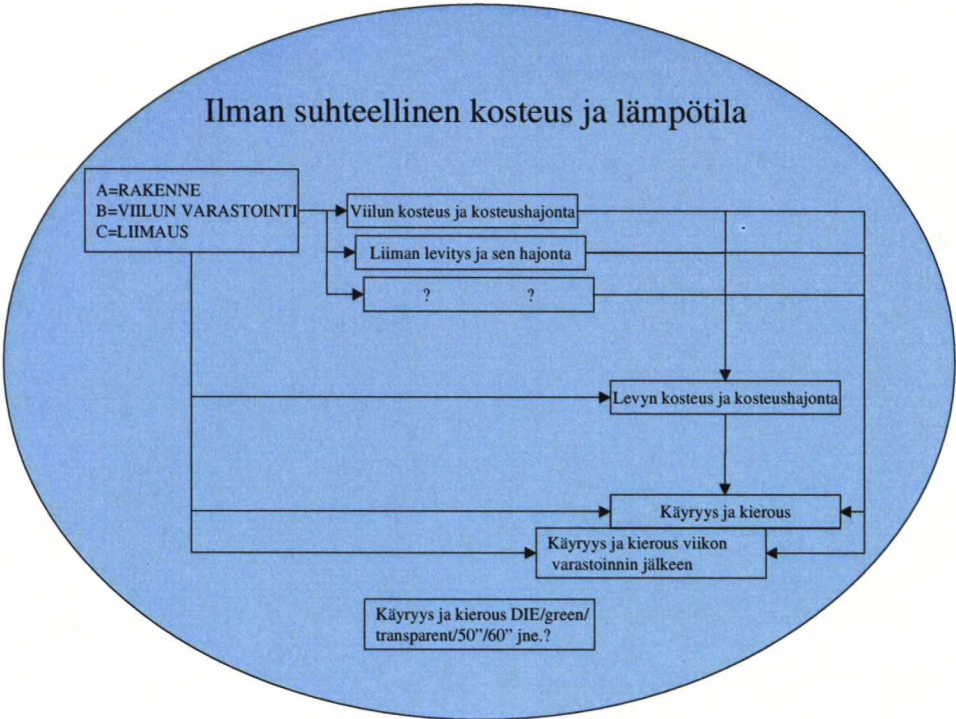


Kuva 122 Kierouden jakauma puristuksen ja yhden viikon varastoinnin jälkeen.

### Muuttujien välisiä korrelaatioita

Kuvassa 123 on esitetty tilanne ennen kokeiden suorittamista. Laatikoiden vasemmalla yläalareunalla on asetettu muuttujat vasemmassa yläalareunassa. Muuttujia vaihdeltiin kahdella tasolla. Muissa laatikoissa ovat mitatut muuttujat. Nuolet kuvaavat ennalta mietittyjä korrelaatioita muuttujien välillä. Ajatuksena oli, että kolmella ennalta määrätyllä muuttujalla voidaan parantaa levyjen muotopysyvyyttä.

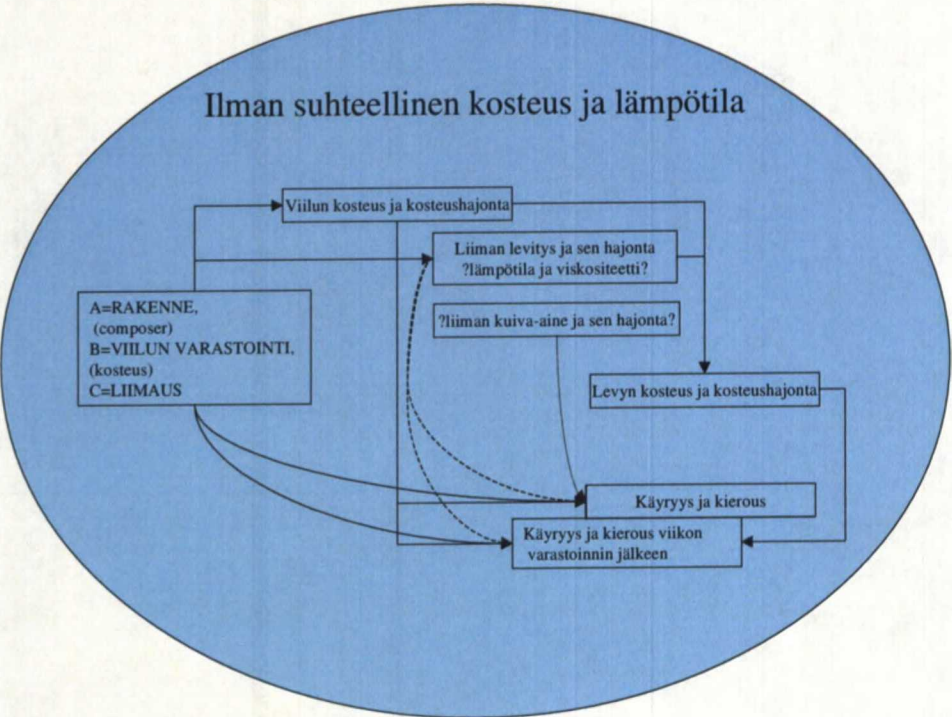
Viilun varastoinnilla tasaannutettaisiin viilujen kosteuserot. 1-puoleisella liimauksella vähennettäisiin liimanlevityksen hajontaa ja siten parannettaisiin kosteustasapainoa ja edelleen muotopysyvyyttä. Rakenteen avulla vähennettäisiin syntyviä jännityksiä levyn sisäviilut rikkomalla, eli rajoittamalla saumattavan jontin maksileveys. Kun muuttuja rakenne oli ylätasolla kaikki sisäviilut (liimaviilut ja kuivat keskimmäiset) oli saumattu maksimissaan 30-35 cm leveistä jontikoista. Kysymysmerkki tyhjässä laatikossa esitti jotakin mahdollisesti esille tulevaa korrelaatiota, jota ei osattu ennakoita.



Kuva 123 Muuttujien välillä ennakoidut korrelaatiot ennen kokeita.

Kuvassa 124 on esitetty tutkimuksessa todettuja muuttujien välisiä korrelaatioita, joista nyt oli tilastollista näyttöä kokeiden jälkeen. Ehjät viivat kuvaavat korrelaatioita, joista on selvää näyttöä. Katkoviivat kuvaavat korrelaatioita, joista ei aineiston perusteella voi olla aivan varma. Liiman kuiva-aineen ja sen hajonnan tapauksessa otoskoko oli niin pieni, että löydetyt vahvat korrelaatiot voivat hyvinkin olla sattumaa. Mielenkiintoista on kuitenkin se, että tulokset ovat yhdenmukaisia Hannosen aineistosta saatuihin tuloksiin verrattuna.





Kuva 124 Korrelaatiot, joista on tilastollista näyttöä.

Ryhmiä väliset t-testit

Taulukossa 10 on esitetty t-testien tulokset ryhmien käyryyksien ja kierouksien välillä. Koematriisi on esitetty taulukossa 6. Tilastollisesti merkittävä ero on merkitty keltaisella solulla. Taulukossa ovat ennakkoon asetetut muuttujat LIIMAUS, KOSTEUS ja RAKENNE sekä liimauksen ja kosteuden yhdysvaikutus KOSTEUS X LIIMAUS.

Taulukko 10 T-testien tulokset käyryydelle ja kieroudelle ryhmien välillä.

LIIMAUS			KOE 5-8			RAKENNE			KOE 2,4,5,6		
			puristus	1 viikko	yhteensä				puristus	1 viikko	yhteensä
KOE 1-4	käyryys	syysuunta				KOE 1,3,7,8	käyryys	syysuunta			
		syitä vastaan						syitä vastaan			
	kierous						kierous				
KOSTEUS			KOE 2,3,5,7			KOSTEUS X LIIMAUS			KOE 2,3,6,8		
			puristus	1 viikko	yhteensä				puristus	1 viikko	yhteensä
KOE 1,4,6,8	käyryys	syysuunta				KOE 1,4,5,7	käyryys	syysuunta			
		syitä vastaan						syitä vastaan			
	kierous						kierous				

Taulukossa 11 on esitetty t-testien tulokset ryhmien viilun kosteuksien välillä. Tilastollisesti merkittävä ero on merkitty keltaisella solulla. Taulukossa ovat ennakkoon asetetut muuttujat LIIMAUS, KOSTEUS ja RAKENNE sekä liimauksen ja kosteuden yhdysvaikutus KOSTEUS X LIIMAUS.

Taulukko 11 T-testien tulokset viilun kosteuksille ryhmien välillä.

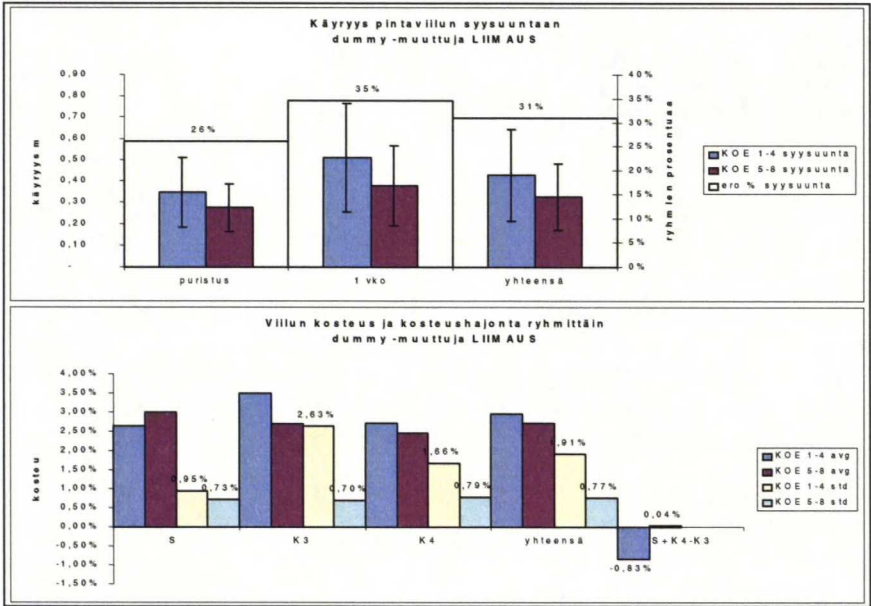
LIIMAUS		KOE 5-8	RAKENNE		KOE 2,4,5,6
KOE 1-4	S		KOE 1,3,7,8	S	
	K3			K3	
	K4			K4	
	yhteensä			yhteensä	
KOSTEUS		KOE 2,3,5,7	KOSTEUS X LIIMAUS		KOE 2,3,6,8
KOE 1,4,6,8	S		KOE 1,4,5,7	S	
	K3			K3	
	K4			K4	
	yhteensä			yhteensä	

Muuttujan LIIMAUS ryhmien välillä on viilun kosteuksissa tilastollisia eroja joka viilulaadulla. Muuttujan KOSTEUS vaikutus näyttää sekoittuneen muuttujan LIIMAUS mahdollisiin vaikutuksiin. Kuten edellä todettiin viilujen varastointi muovissa viikon ajan ei ollut riittävän pitkä aika tasaannuttamaan viilujen kosteuksia koeviilupinkoissa. Tämän lisäksi kuormat olivat eri kokoisia, joten ne tasaantuivat eri tavalla (S 120 viilua/kuorma, K3 300 viilua/kuorma).

Tilastollisesti tarkasteltuna selkeimmät erot olivat muuttujan RAKENNE ja kosteuden ja liimauksen yhdysvaikutuksen KOSTEUS X LIIMAUS ryhmien välillä. Erot löytyivät ryhmien välisistä kierouksista (kuvat 127-130).

Kuvissa 125-130 on esitetty ryhmäkohtaisia käyryyksiä ja kierouksia, jotka t-testein vertaillen erosivat toisistaan tilastollisesti. Kuvaajista löytyvät käyryyksien ja kierouksien keskiarvot ja niiden hajonnat sekä prosentuaalinen ero käyryys- ja kierouskeskiarvojen välillä. Ryhmäkohtaisten käyryys- ja kierouskuvaajien jälkeen on esitetty viilun kosteus ja kosteushajonta viilulaaduittain.

Muuttuja LIIMAUS



Kuva 125 Käyryys pintaviilun syysuuntaan ja viilun kosteus ja kosteushajonta laaduittain, muuttuja LIIMAUS.



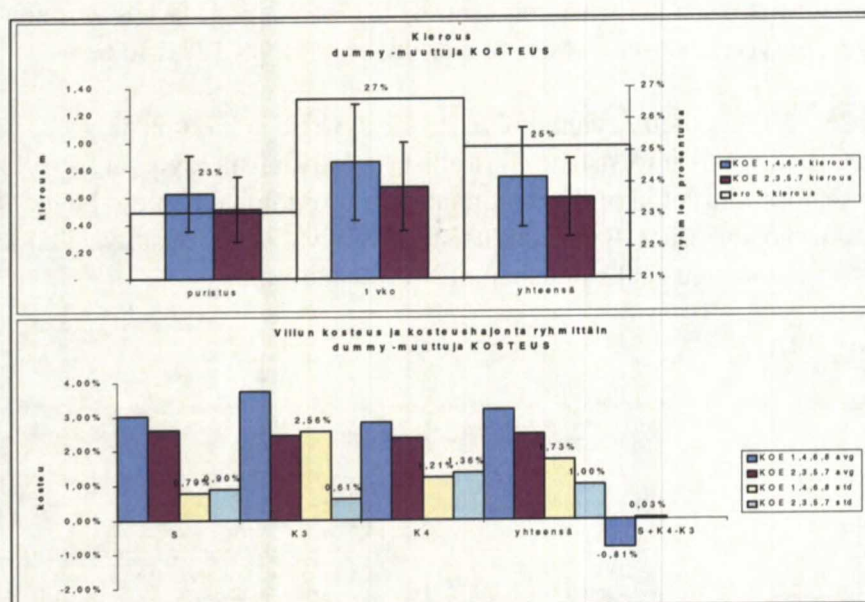
Kasper Sokka

Kuvassa 125 on ylempänä esitetty syysuuntaisen käyryyden keskiarvot ja hajonnat ryhmiteltynä muuttujan LIIMAUS perusteella. Värilliset tolpat esittävät ryhmien käyryyskeskiarvoja. Läpinäkyvä tolppa kuvaa ryhmien prosentuaalista eroa ja mustat pystyjanat käyryyden hajontaa.

Kuvassa alempana löytyvät viilun kosteus ja kosteuden hajonnat. Viilun kosteus ja kosteushajonta on esitetty eri viilulaaduittain (S, K3 ja K4) ja yhteensä. Viimeisenä on vielä esitetty pintaviilun syysuuntaisten ja syysuunnan vastaisten viilukerrostosten erotus (S+K4-K3).

Ryhmien syysuuntaiset käyryydet poikkesivat toisistaan t-testeissä viikon varastoinnin jälkeen sekä kun molempien mittauskertojen käyryyksiä vertailtiin yhdessä. Levyt, joihin liima oli levitetty 1-puoleisesti olivat noin kolmanneksen käyrempiä.

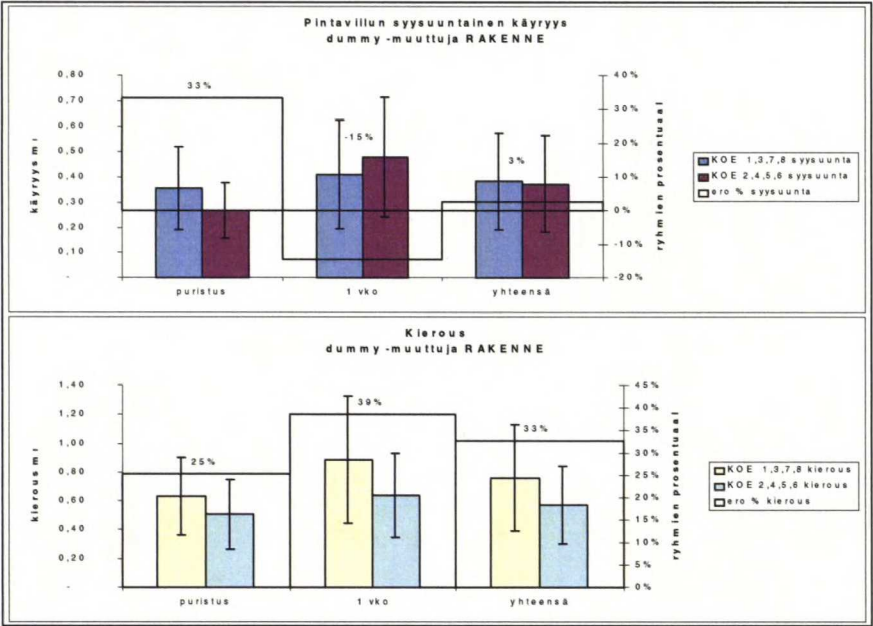
### Muuttuja KOSTEUS



Kuva 126 Kierous ja viilun kosteus ja kosteushajonta laaduittain, muuttuja KOSTEUS.

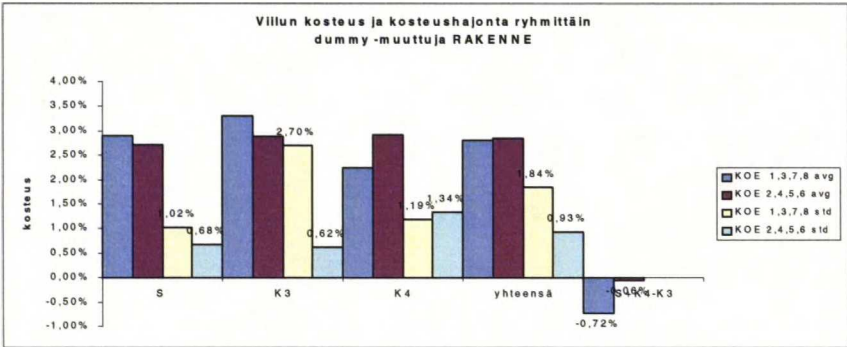
Kuvassa 126 on esitetty kierouden keskiarvot ja hajonnat ryhmiteltynä muuttujan KOSTEUS perusteella. Alempana löytyvät viilun kosteus ja kosteuden hajonnat laaduittain. Ryhmien kieroudet poikkesivat toisistaan t-testeissä, kun molempien mittauskertojen käyryyksiä vertailtiin yhdessä. Levyt, joiden viiluja ei säilytetty muovissa, olivat neljänneksen kierompia.

Muuttuja RAKENNE



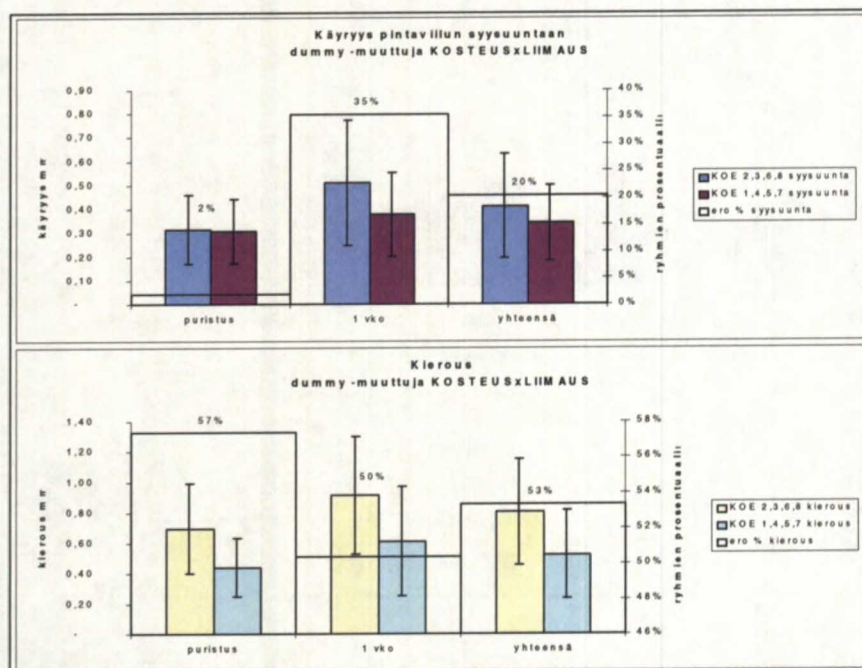
Kuva 127 Käyryys pintaviilun syysuuntaan ja kierous, muuttuja RAKENNE.

Kuvassa 127 on esitetty syysuuntaisen käyryyden ja kierouden keskiarvot ja hajonnat ryhmiteltyinä muuttujan RAKENNE perusteella. Kuvasta 128 löytyvät viilun kosteus ja kosteuden hajonnat laaduittain. Ryhmien syysuuntaiset käyryydet poikkesivat toisistaan t-testeissä, kun puristuksen jälkeisiä käyryyksiä vertailtiin. Levyt, joiden sisäviiluja ei tehty jontikoista saumaamalla, olivat neljänneksen käyrempiä puristuksen jälkeen. Ryhmien kieroudet poikkesivat toisistaan t-testeissä puristuksen jälkeen, viikon varastoinnin jälkeen ja kun molempien mittauskertojen kierouksia vertailtiin yhdessä. Levyt, joiden sisäviiluja ei tehty jontikoista saumaamalla, olivat noin kolmanneksen kierompia.



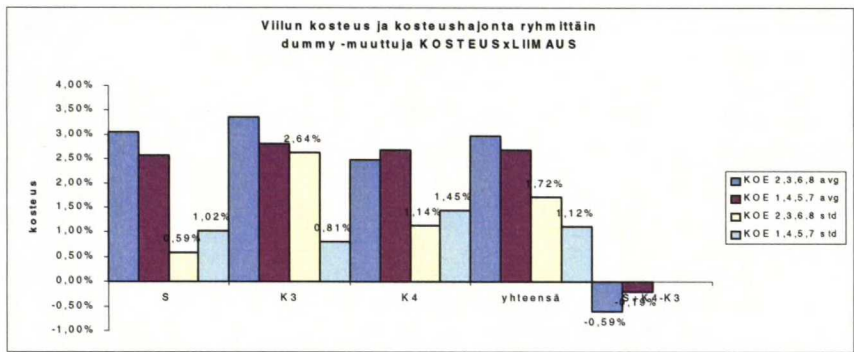
Kuva 128 Viilun kosteus ja kosteushajonta viilulaaduittain, muuttuja RAKENNE.



Muuttujien KOSTEUS ja LIIMAUS yhdysvaikutus

Kuva 129 Käyryys pintaviilun syysuuntaan ja kierous, muuttuja KOSTEUS X LIIMAUS.

Kuvassa 129 on esitetty syysuuntaisen käyryyden ja kierouden keskiarvot ja hajonnat ryhmiteltynä kahden muuttujan yhdysvaikutuksen KOSTEUS X LIIMAUS perusteella. Kuvasta 130 löytyvät viilun kosteus ja kosteuden hajonnat laaduittain. Ryhmien syysuuntaiset käyryydet poikkesivat toisistaan t-testeissä, kun viikon varastoinnin jälkeisiä ja molempien mittauskertojen käyryyksiä yhdessä vertailtiin. Yhdysvaikutuksen ylätasolla olevat levyt olivat noin neljänneksen käyrempiä. Ryhmien kieroudet poikkesivat toisistaan t-testeissä puristuksen jälkeen, viikon varastoinnin jälkeen ja kun molempien mittauskertojen kierouksia vertailtiin yhdessä. Yhdysvaikutuksen ylätasolla olevat levyt olivat noin puolet kierompia. Yhdistetyssä muuttujassa paras valinta olisi siis KOE 5,7 tai KOE 1,4, eli muovissa säilytetyt viilut ja 2-puoleinen liimanlevitys tai normaalisti säilytetyt viilut ja 1-puoleinen liimanlevitys.



Kuva 130 Viilun kosteus ja kosteushajonta viilulaaduittain, muuttuja KOSTEUS X LIIMAU.

5.5. PÖLLIMITAN JA PINNOITUKSEN SEKÄ VIILUN KOSTEUDEN JA LEVYN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUS KÄYRISTYMISEEN

Jatkokokeessa liimattiin 120 levyä mitassa 15 x 1300 x 2600 ja saman verran mitassa 15 x 1600 x 2600. Yhteensä liimattiin siis 240 levyä. Levystä 30 kappaletta sekä 50” että 60” mitassa jätettiin koivupintaisiksi (DIE BB/BB). 60 levyä lähetettiin ensimmäisten mittausten jälkeen Lahteen lakattavaksi (DIE green). 60 pinnoitettiin ennen ensimmäisiä mittauksia melamiinikalvolla (DIE transparent) ja 60 jätettiin tasaantumaan noin kahdeksi viikoksi ennen pinnoitusta (DIE transparent, 2 vkoa).

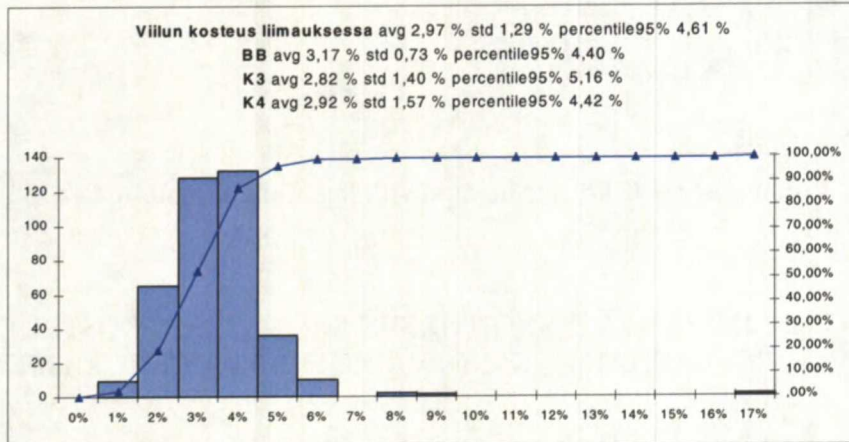
Taulukko 12 Jatkokokeiden numerointi, päämitat ja koeparit.

		Päämitta	
		50”	60”
Koeparit/ ryhmät	BB/BB	KOE 1	KOE 5
	green	KOE 2	KOE 6
	transparent	KOE 3	KOE 7
	transparent 2 vkoa	KOE 4	KOE 8



### 5.5.1. Viilun kosteus liimauksessa

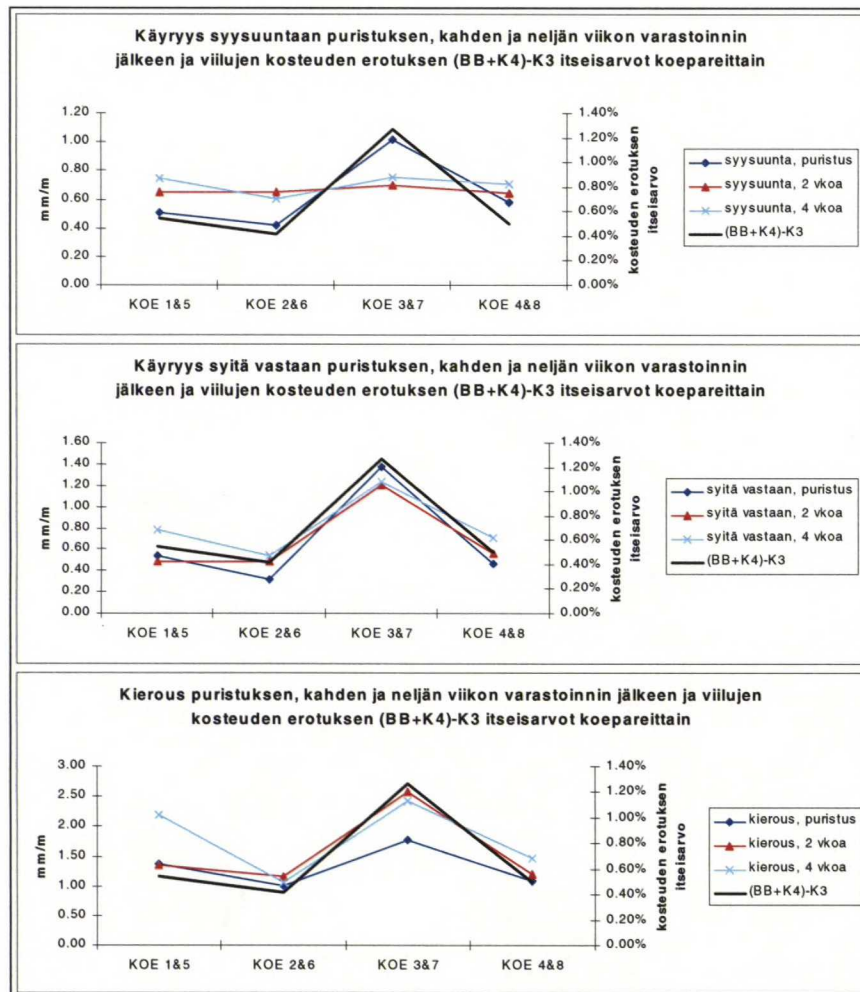
Kuvassa 131 on esitetty viilunkosteus liimauksessa. Keskimäärin viilujen kosteus oli noin 3 % aivan kuten faktorikokeen aikanakin.



Kuva 131 Viilun kosteus liimauksessa.

### 5.5.2. Viilujen kosteuden vaikutus käyritymiseen

Kuvassa 132 on esitetty levyjen käyryydet ja kierous puristuksen ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen sekä viilujen kosteuden erotuksen itseisarvot koepareittain. Viilujen kosteuden erotus on laskettu eri viilukerrosten keskiarvojen erotuksen itseisarvona. Ensin on laskettu pintaviilun syysuuntaisten viilujen (tässä BB ja K4) kosteuden keskiarvo, josta sitten on vähennetty pintaviilun syiden vastaisten viilujen (tässä K3) kosteuden keskiarvo. Lopuksi on vielä kuvassa 133 esitetty kaikkien mittapisteiden 95%:n fraktiiliarvot puristuksen ja varastointijaksojen jälkeen viilun kosteuden erotuksen itseisarvon funktiona kokeittain. Käyryydet ja kierous viilujen kosteuden itseisarvon funktiona kokeittain kaikilta mittakerroilta on esitetty liitteessä 3.



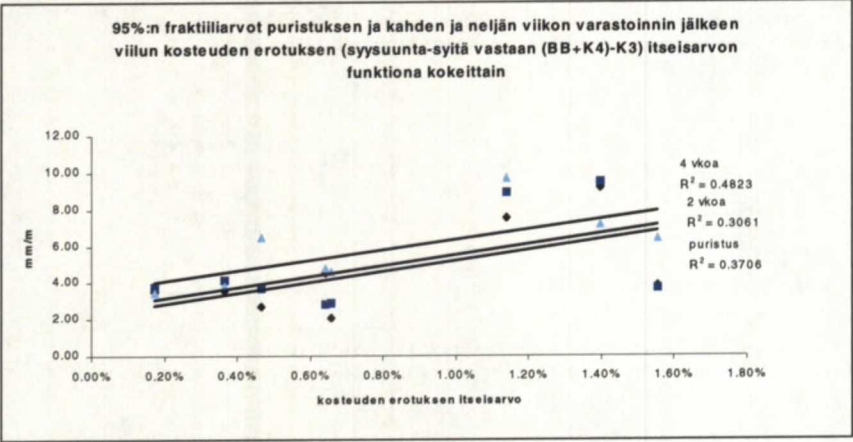
Kuva 132 Käyryydet ja kierous sekä kosteuden erotuksen itseisarvo koepareittain.

Käyryys pintaviilun syitä vastaan ja kierous korreloivat viilujen kosteuden erotuksen itseisarvojen kanssa. Kosteuden erotuksen itseisarvon, eli pintaviilun syysuuntaisten ja syitä vastaan olevien viilukerrosten kosteuseron kasvaessa, käyristyminen ja kieroutuminen kasvavat.

Vahvimmin kosteuden erotuksen itseisarvo korreloi käyryyden ja kierouden kanssa heti puristuksen jälkeen.

Kuvassa 133 on esitetty 95%:n fraktiiliarvot kaikista mittapisteistä viilujen kosteuden erotuksen itseisarvon funktiona kokeittain. Erotuksen itseisarvo korreloi kaikkien mittapisteiden 95%:n fraktiiliarvojen kanssa niin puristuksen kuin varastointijaksojenkin jälkeen. Kosteuden erotuksen itseisarvon, eli pintaviilun syysuuntaisten ja syitä vastaan olevien viilukerrosten kosteuseron, kasvaessa, käyristyminen ja kieroutuminen kasvavat.

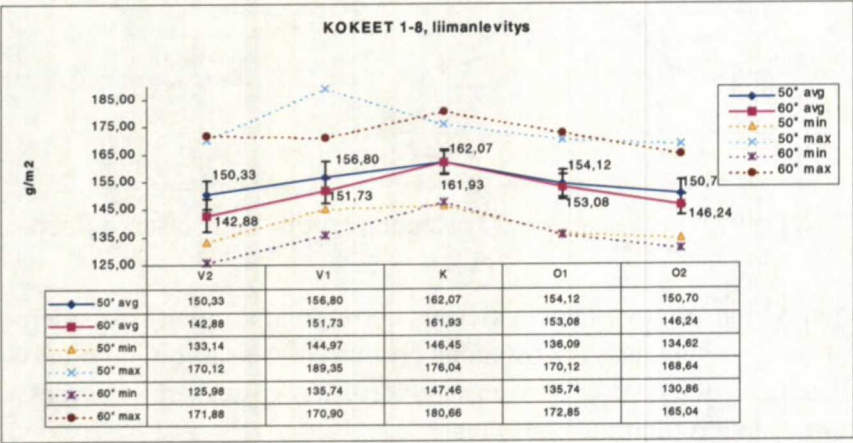




Kuva 133 95:n fraktiiliarvot viilujen kosteuden erotuksen itseisarvon funktiona kokeittain.

5.5.3. Liimanlevitys

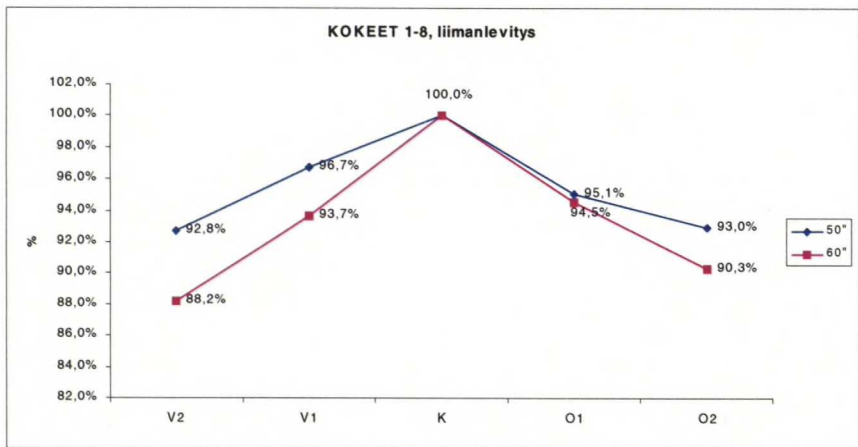
Kuvassa 134 on esitetty kaikkien kokeiden liimanlevitys yhteensä päämitoittain, sekä minimi- ja maksimiarvot päämitoittain.



Kuva 134 Kaikkien kokeiden liimanlevityksen keskiarvot ja hajonnat sekä minit ja maksimit päämitoittain.

Valssin suunnassa liimaviilun keskiosan liimanlevitys on keskimäärin huomattavasti suurempi kuin reunojen.

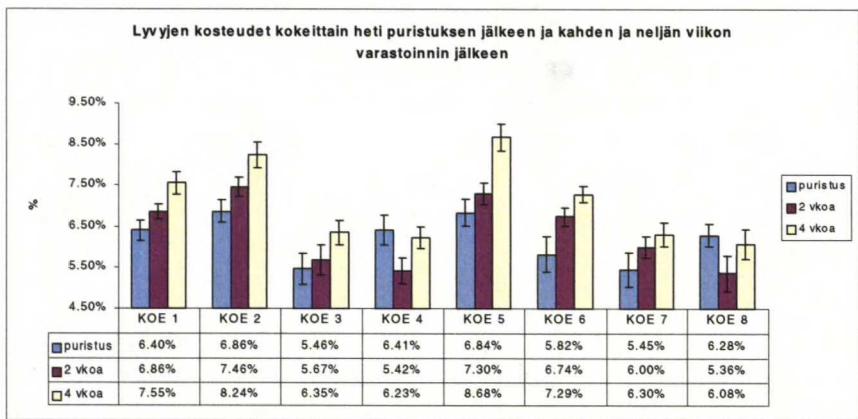
Kuvassa 135 on esitetty kaikkien kokeiden keskiarvoista laskettu prosentuaalinen liimanlevitys eri kohdin valssia päämitoittain.



Kuva 135 Kaikkien kokeiden liimanlevitys päämitoittain.

Valssin suunnassa liimaviilun keskiosan ja reunojen välinen ero on suurempi päämitassa 60” kuin päämitassa 50”.

5.5.4. Levyjen kosteus



Kuva 136 Levyjen kosteudet heti puristuksen jälkeen ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen.

Kuvassa 136 on esitetty koelevyjen kosteudet kokeittain heti puristuksen jälkeen ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen.

Kuvissa 137-145 on esitetty levyjen kosteuskeskiarvot koepareittain eri kohdissa levyä (kuva 104), kosteuskeskiarvot päämitoittain ja eri kohdissa paalia (kuva 105). Kosteuskeskiarvot on esitetty puristuksen jälkeen ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen.

Kuvissa 146 ja 147 on edelleen esitetty kosteuskeskiarvojen erotukset koepareittain eri kohdissa levyä ja päämitoittain.



Kasper Sokka

Ryhmien ja päämittojen väliset t-testit

Taulukoissa 13 ja 14 on esitetty ryhmittäin ja päämittoittain jaotelluille levyjen kosteuksille suoritettujen t-testien tulokset. Taulukossa 15 on esitetty ryhmittäin kosteuksien hajonnoille suoritettujen t-testien tulokset.

Taulukko 13 Levyjen kosteuden t-testien tulokset ryhmittäin. Sininen solu merkitsee tilastollisesti merkittävää eroa kosteuksissa.

			green	transparent	transparent 2 vkoa
BB/BB	puristus	kosteus%			
green		kosteus%			
transparent		kosteus%			
BB/BB	2 vkoa	kosteus%			
green		kosteus%			
transparent		kosteus%			
BB/BB	4 vkoa	kosteus%			
green		kosteus%			
transparent		kosteus%			
BB/BB	puristus+2 vkoa+4 vkoa	kosteus%			
green		kosteus%			
transparent		kosteus%			

Puristuksen jälkeen kaikkien muiden ryhmien kosteudet eroavat tilastollisesti merkittävästi heti pinnoitettujen levyjen kosteudesta (transparent). Kahden viikon jälkeen, kun loputkin levyt on pinnoitettu (transparent 2 vkoa), muodostavat levyjen kosteudet selkeästi kaksi ryhmää. Kahden ja neljän viikon jälkeen pinnoittamattomien ja lakattujen levyjen kosteudet eroavat tilastollisesti merkittävästi pinnoitetuista.

Taulukko 14 Levyjen kosteuden t-testien tulokset päämittoittain. Sininen solu merkitsee tilastollisesti merkittävää eroa kosteuksissa.

50"			60"
	puristus	kosteus %	
		kosteuden hajonta %	
	2 vkoa	kosteus %	
		kosteuden hajonta %	
	4 vkoa	kosteus %	
		kosteuden hajonta %	
	puristus+2 vkoa+4 vkoa	kosteus %	0.058
		kosteuden hajonta %	
		kosteus %	
		kosteuden hajonta %	
		kosteus %	
		kosteuden hajonta %	

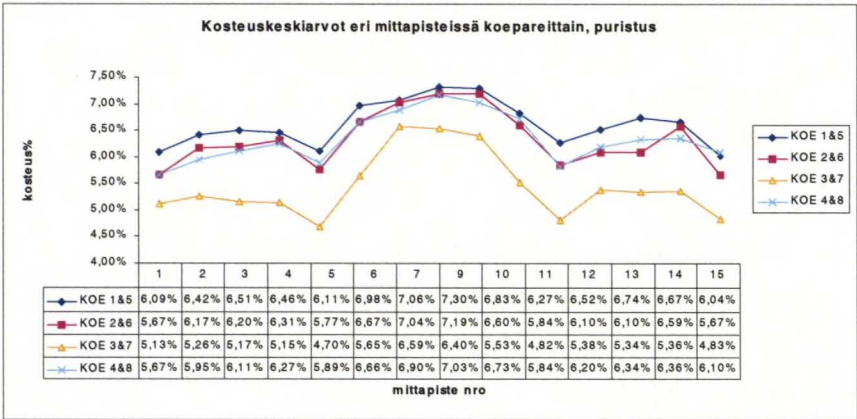
Rinnakkaislevyjen päämitoissa 50" ja 60" kosteuksien hajonnan välille on ensimmäisen kahden viikon varastointijakson jälkeen muodostunut tilastollisesti merkittävä ero, joka tasaantui seuraavan kahden viikon varastointijakson aikana.

Taulukko 15 Levyjen kosteuden hajonnan t-testien tulokset ryhmittäin. Sininen solu merkitsee tilastollisesti merkittävää eroa kosteuksien hajonnassa.

			green	transparent	transparent 2 vkoa
BB/BB	puristus	kosteus%			
green		kosteus%			
transparent		kosteus%			
BB/BB	2 vkoa	kosteus%			
green		kosteus%			
transparent		kosteus%			
BB/BB	4 vkoa	kosteus%			
green		kosteus%			
transparent		kosteus%			
BB/BB	puristus+2 vkoa+4 vkoa	kosteus%			
green		kosteus%			
transparent		kosteus%			

Puristuksen jälkeen ryhmien kosteuden hajonnat eivät eroa tilastollisesti merkittävästi toisistaan. Kahden viikon jälkeen, kun loputkin levyt on pinnoitettu (transparent 2 vkoa), eroavat levyjen kosteuden hajonnat toisistaan lukuunottamatta koivupintaisten (BB/BB) ja lakattujen (green) levyjen kosteuden hajontaa. Neljän viikon jälkeen eroaa koivupintaisten kosteuden hajonta tilastollisesti merkittävästi lakatuista ja heti puristuksen jälkeen pinnoitetuista (transparent).

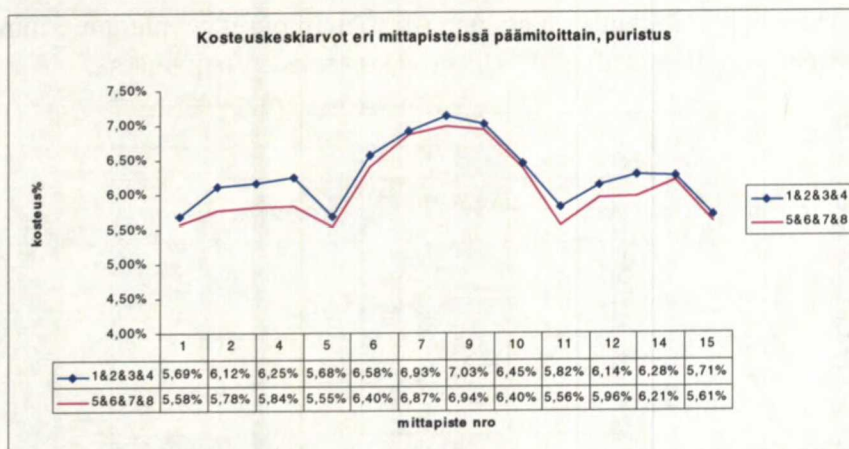
Levyjen kosteus puristuksen jälkeen



Kuva 137 Kosteuskeskiarvot eri kohdissa levyä puristuksen jälkeen koepareittain.

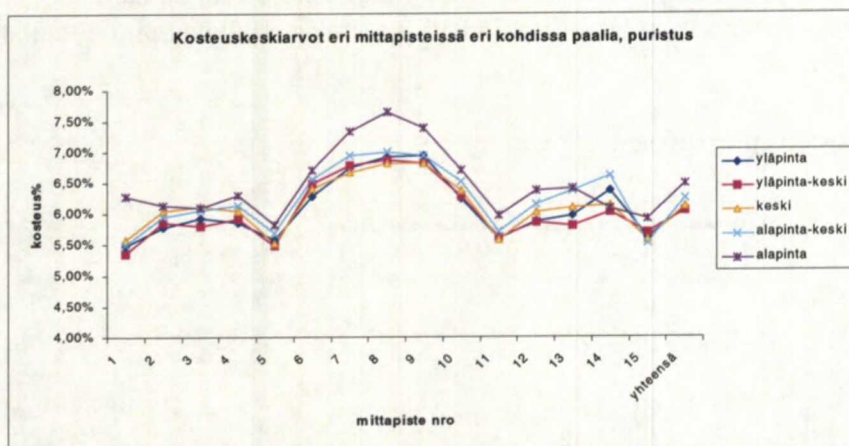
Kuvassa 137 on esitetty kosteuskeskiarvot eri kohdissa levyä koepareittain. Kuvaajasta näkee selvästi heti puristuksen jälkeen pinnoitettujen levyjen (KOE 3&7, transparent) kosteuseron verrattuna muihin koepareihin.





Kuva 138 Kosteuskeskiarvot eri kohdissa levyä puristuksen jälkeen päämitoitin.

Kuvassa 138 on esitetty kosteuskeskiarvot eri kohdissa levyä päämitoitin. Päämitan 1600 kosteus on puristuksen jälkeen hieman alhaisempi kuin päämitan 1300, mutta kuvaajat ovat samanmuotoisia.

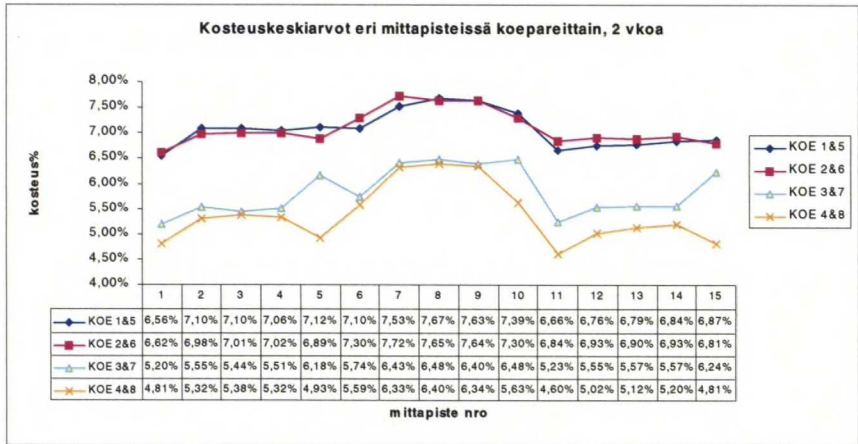


Kuva 139 Kosteuskeskiarvot eri kohdissa pallettia puristuksen jälkeen.

Kuvassa 139 on esitetty kosteuskeskiarvot erikohdissa pallettia puristuksen jälkeen. Palletin alimmainen levy on keskimäärin palletin muita levyjä kosteampi.

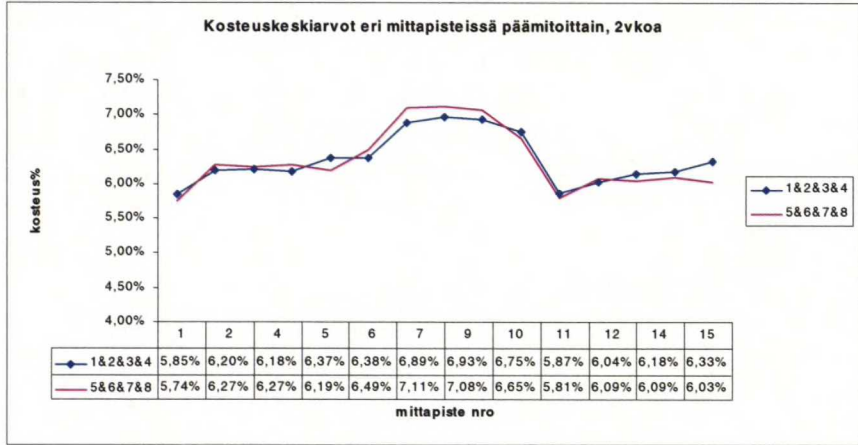
Puristuksen jälkeen kaikkien muiden koeparien kosteudet erosivat tilastollisesti merkittävästi heti pinnoitettujen kosteudesta. Kosteuden hajonnassa ei koeparien välillä ollut tilastollisesti merkittäviä eroja. Päämittojen kosteuksien tai niiden hajontojen välillä ei ollut puristuksen jälkeen tilastollisesti merkittäviä eroja.

Levyjen kosteus kahden viikon varastoinnin jälkeen



Kuva 140 Kosteuskeskiarvot eri kohdissa levyä kahden viikon varastoinnin jälkeen koepareittain.

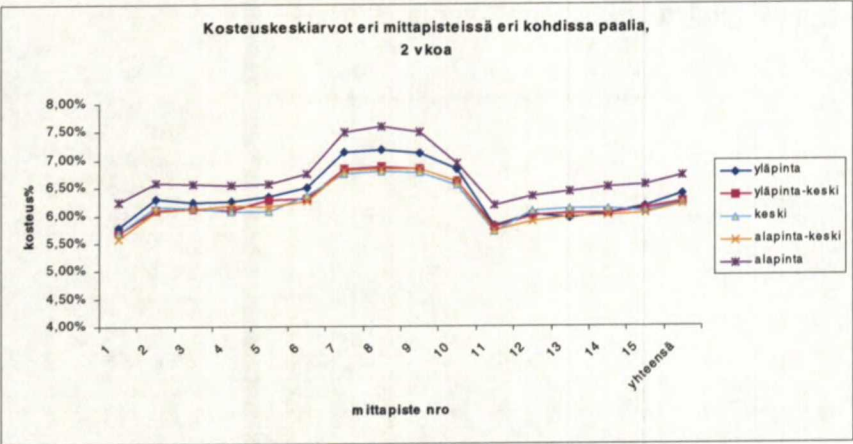
Kuvassa 140 on esitetty kosteuskeskiarvot eri kohdissa levyä koepareittain kahden viikon varastoinnin jälkeen. Kuvassa erottuvat selvästi kosteudeltaan alhaisempina molemmat pinnoitetut koeparit (transparent ja transparent 2 vkoa). Koivupintaisten ja lakattujen (BB/BB ja green) levyjen sisäinen kosteusjakauma on myös tasaisempi.



Kuva 141 Kosteuskeskiarvot eri kohdissa levyä kahden viikon varastoinnin jälkeen päämitoittain.

Kuvassa 141 on esitetty kosteuskeskiarvot kahden viikon varastoinnin jälkeen eri kohdissa levyä päämitoittain. Päämittojen kosteudet ovat samalla tasolla.



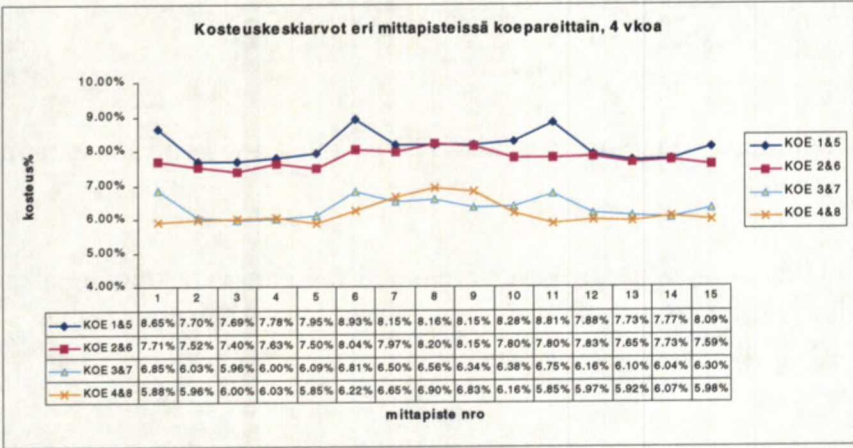


Kuva 142 Kosteuskeskiarvot eri kohdissa pallettia kahden viikon varastoinnin jälkeen.

Kuvassa 142 on esitetty kosteuskeskiarvot eri kohdissa pallettia kahden viikon varastoinnin jälkeen. Palletin alimmainen ja ylimmäinen levy ovat keskimäärin palletin muita levyjä kosteampia. Puristuksen jälkeisessä tilanteessa ei palletin ylimmän levyn kosteus vielä eronnut muista.

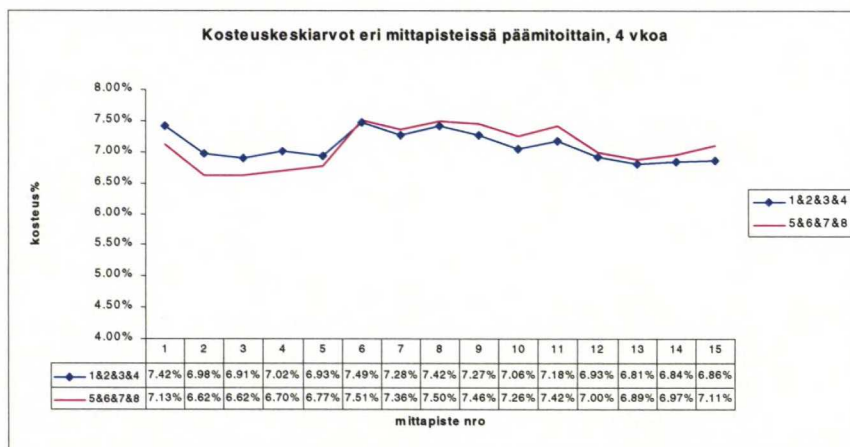
Kahden viikon varastoinnin jälkeen koivupintaisten ja lakattujen levyjen kosteudet erosivat tilastollisesti merkittävästi molempien pinnoitettujen koeparien kosteudesta. Kahden viikon varastointi ennen pinnoitusta ja mittauksia (transparent 2 vkoa) tapahtui lämpöisessä hallissa, kun taas muut levyt varastoitiin katetussa varastossa normaaliolosuhteissa. Kosteuden hajonnassa oli kaikkien muiden koeparien välillä, lukuunottamatta koivupintaista ja lakattuja, tilastollisesti merkittäviä eroja. Päämittojen kosteuksissa ei ollut kahden viikon varastoinnin jälkeen tilastollisesti merkittäviä eroja. Päämittojen kosteuksien hajonnat sen sijaan erosivat tilastollisesti merkittävästi toisistaan.

Levyjen kosteus neljän viikon varastoinnin jälkeen



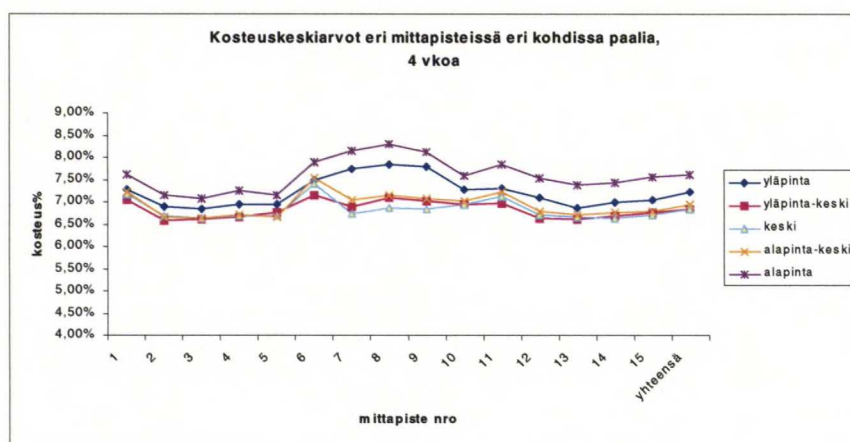
Kuva 143 Kosteuskeskiarvot eri kohdissa levyä neljän viikon varastoinnin jälkeen koepareittain.

Kuvassa 143 on esitetty kosteuskeskiarvot eri kohdissa levyä koepareittain neljän viikon varastoinnin jälkeen. Kuvassa erottuvat selvästi kosteudeltaan alhaisempina molemmat pinnoitetut koeparit (transparent ja transparent 2 vkoa). Kuvaajien muoto on myös erilainen. Kahden viikon varastoinnin jälkeen levyt olivat vielä selkeästi keskeltä kosteampia ja kulmista kuivimpia. Tämä oli myös tilanne heti puristuksen jälkeen. Nyt enää lakattujen ja kahden viikon varastoinnin jälkeen pinnoitettujen koeparien levyjen sisäisen kosteuden kuvaajat muistuttavat alkuperäisiä. Koivupintaisten ja heti pinnoitettujen koeparien levyt ovat neljän viikon varastoinnin jälkeen kosteimpia kulmista.



Kuva 144 Kosteuskeskiarvot eri kohdissa levyä neljän viikon varastoinnin jälkeen päämitoitain.

Kuvassa 144 on esitetty kosteuskeskiarvot neljän viikon varastoinnin jälkeen eri kohdissa levyä päämitoitain. Päämittojen kosteudet jotakuinkin ovat samalla tasolla.



Kuva 145 Kosteuskeskiarvot eri kohdissa pallettia neljän viikon varastoinnin jälkeen.



Kaspero Sokka

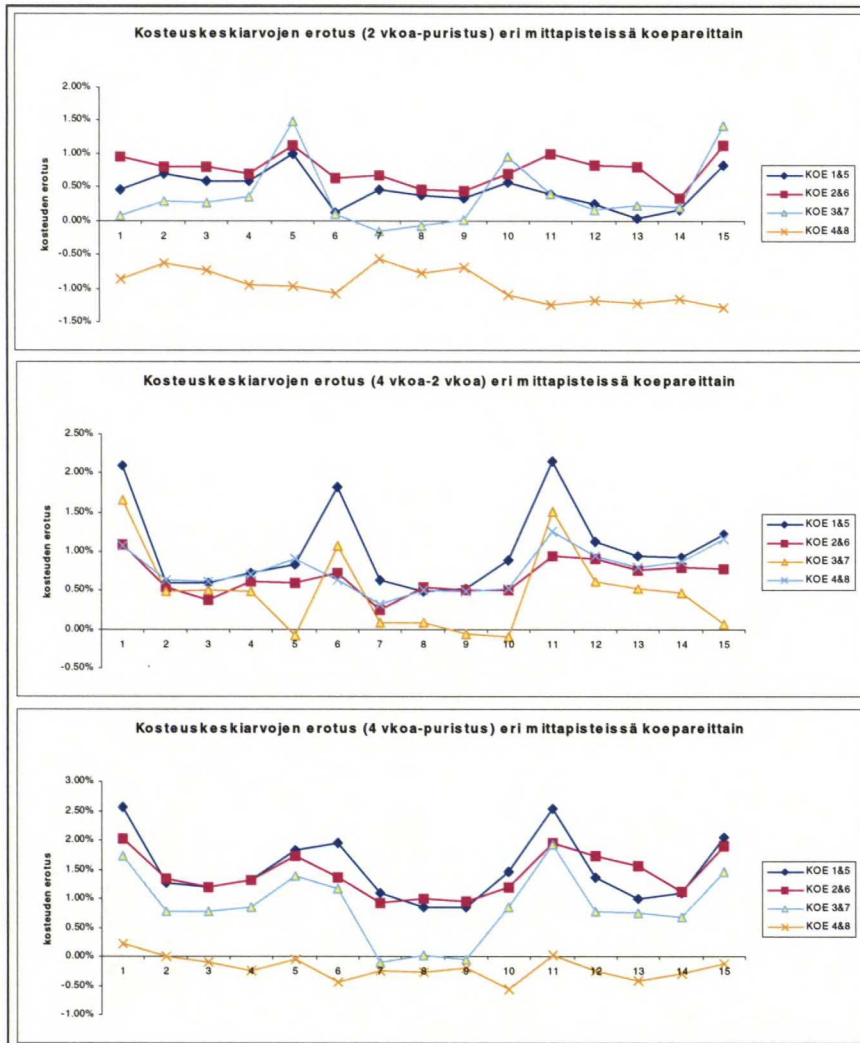
Kuvassa 145 on esitetty kosteuskeskiarvot eri kohdissa pallettia neljän viikon varastoinnin jälkeen. Palletin alimmainen ja ylimmäinen levy ovat keskimäärin palletin muita levyjä kosteampia. Näiden levyjen sisäisen kosteuden kuvaajat eroavat palletin sisällä sijainneista levyistä. Alin ja ylin levy ovat edelleen keskeltä kosteimpia, kun taas sisäosan levyt ovat kulmista kosteimpia.

Neljän viikon varastoinnin jälkeen koivupintaist ja lakatut erosivat tilastollisesti merkittävästi molempien pinnoitettujen koeparien kosteudesta. Kosteuden hajonnassa on tilastollisesti merkittäviä eroja vain verrattaessa koivupintaista koeparia lakattuihin ja heti pinnoitettuihin. Päämitttojen kosteuksissa ei ollut neljän viikon varastoinnin jälkeen tilastollisesti merkittäviä eroja. Päämitttojen kosteuksien hajonnat eivät aivan annetulla riskitasolla eroa tilastollisesti merkittävästi toisistaan ( $0,058 > 0,05$ ).

#### 5.5.5. Levyjen kosteuden muutos varastoinnissa

Kuvissa 146 ja 147 on esitetty kosteuskeskiarvojen erotukset koepareittain eri kohdissa levyä ja päämitoitain. Kosteuden erotukset on laskettu välille 2 viikkoa-puristus, 4 viikkoa-2 viikkoa ja 4 viikkoa-puristus.

Kuvassa 146 on esitetty kosteuskeskiarvojen muutos koepareittain eri kohdissa levyä kahden viikon varastointijaksojen aikana. Keskimäärin kaikkein tasaisin kosteuden muutos ensimmäisen kahden viikon aikana on tapahtunut lakatuissa levyissä. Heti pinnoitettujen levyjen kosteus on noussut selvästi enemmän kulmista. Kahden viikon varastoinnin jälkeen pinnoitettujen levyjen kosteus on laskenut. Toisen kahden viikon varastointijakson aikana keskimäärin kaikkein tasaisin kosteuden muutos on edelleen tapahtunut lakatuissa levyissä. Koivupintaisten ja heti pinnoitettujen levyjen kosteudet ovat selvästi nousseet enemmän kulmista. Koko neljän viikon varastointijakson aikana kahden viikon varastoinnin jälkeen pinnoitetut levyt ovat jotakuinkin samassa kosteudessa kuin puristuksen jälkeen. Muiden kolmen koeparin levyn sisäisen kosteuden jakaumia tarkasteltaessa, tasaisin muutos on tapahtunut lakatuissa levyissä.

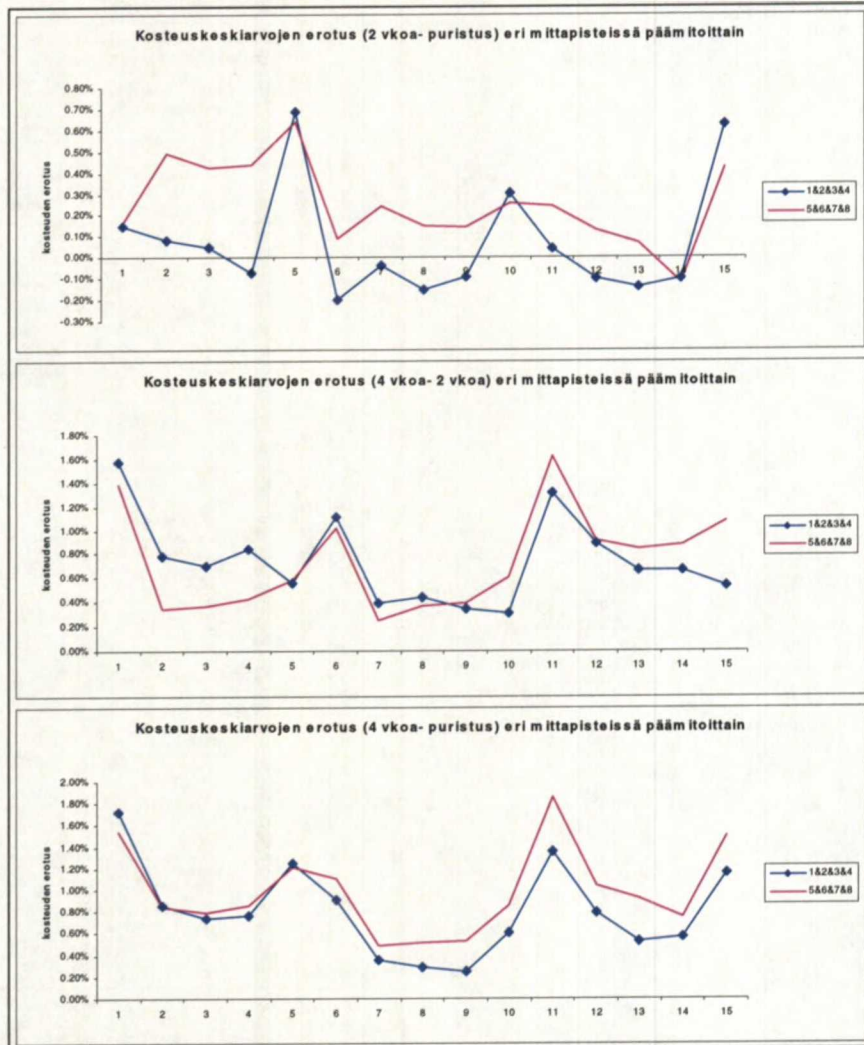


Kuva 146 Kosteuskeskiarvojen erotus eri kohdin levyä koepareittain.

Kuvassa 147 on esitetty kosteuskeskiarvojen muutos päämitoittain eri kohdissa levyä kahden viikon varastointijaksojen aikana.

Ensimmäisen kahden viikon varastoinnin aikana levyjen kosteuden muutoksia päämitoittain tarkasteltuna 60" levyt näyttäisivät kostuvan tasaisemmin, kun taas 50" levyt kostuivat kulmista ja kuivuivat keskeltä. Koko neljän viikon varastoinnin aikana ovat levyjen sisäisen kosteuden jakauman muutokset kokolailla samanmuotoisia.

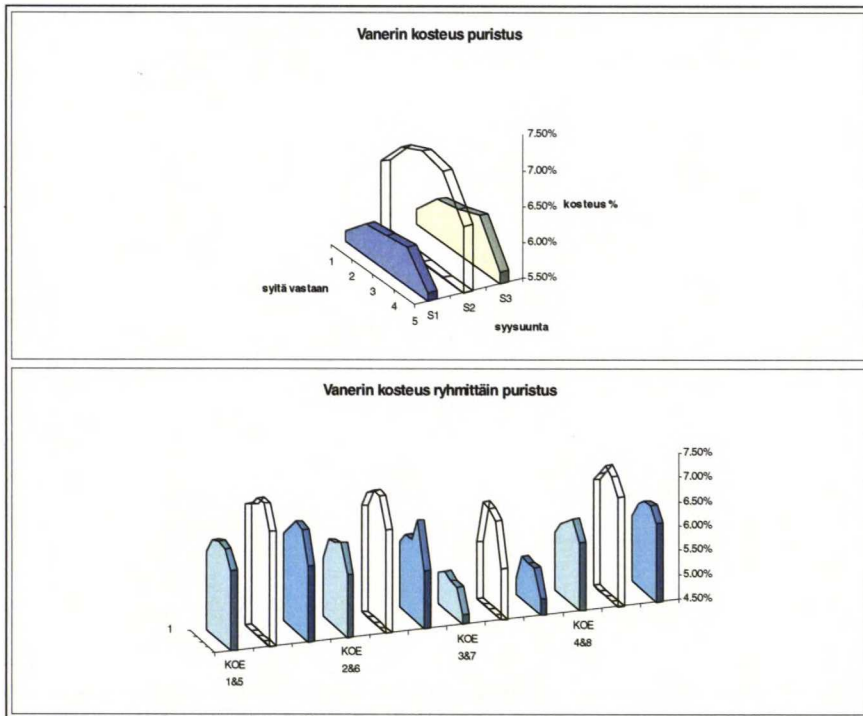




Kuva 147 Kosteuskeskiarvojen erotus eri kohdin levyä päämitoitin.

#### 5.5.6. Levyjen kosteuden muutoksen vaikutus käyristymiseen

Kuvassa 148 on esitetty levyjen kosteuksien keskiarvot eri kohdin levyä puristuksen jälkeen sekä sama koepareittain. Kuvassa 104 esitettiin kosteus- ja lujuuskoepalojen sijainti levyissä. Kuvassa 148 pintaviilun syitä vastaan (x-akseli) on levyn pitkä reuna ja pintaviilun syysuunta (y-akseli) on levyn lyhyt reuna. Piste (1, S3) z-akselin arvo on kaikkien levyjen kosteuden keskiarvo laskettuna paloista numero 1. Vastaavasti pisteen (5, S1) z-akselin arvo on kaikkien levyjen kosteuden keskiarvo laskettuna paloista numero 15. Tiheyden, keskimmäisen liimasauman lujuuden sekä taivutuslujuuden ja -kimmomoduulin kolmiulotteiset kuvaajat liittyvät kaikki edellä kerrotulla tavalla kuvaan 104.

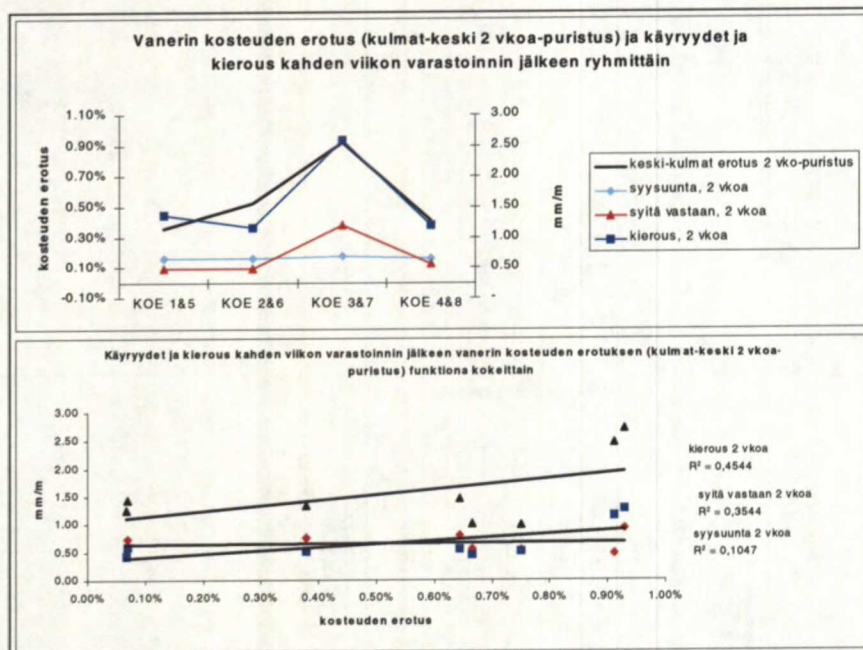


Kuva 148 Levyjen kosteuksien keskiarvot eri kohdin levyä (kuva 104) puristuksen jälkeen yhteensä ja koepareittain.

Levyjen sisäinen kosteusjakauma puristuksen jälkeen on kaikilla ryhmillä hyvin samanlainen. Levyn keskiosa on kaikkein kostein ja kulmat kuivimpia. Kuvista 137, 140, 143 ja 146 saa käsityksen miten kosteus on muuttunut eri ryhmissä varastoinnin aikana. Levyjen reunat, erityisesti kulmat, ovat alttiita kosteuden muutoksille.

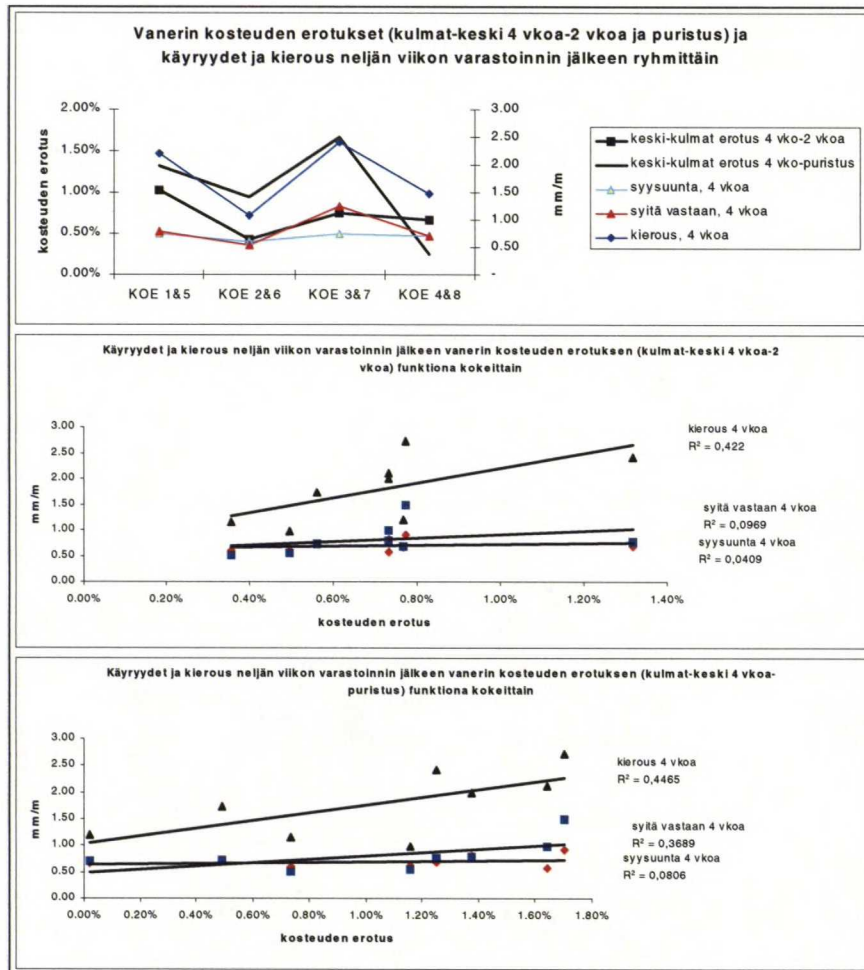
Kuvissa 149 ja 150 on esitetty vanerin kosteuden muutos kulmien ja keskiosan kosteuden erotuksen itseisarvon muutoksena koepareittain varastoinnin edetessä. Edelleen samoissa kuvissa on esitetty varastointijaksojen jälkeiset käyryydet ja kieroudet koepareittain. Alimpana kuvissa on esitetty käyryydet ja kierous vanerin kulmien ja keskiosan kosteuden erotuksen muutoksen funktiona kokeittain.





Kuva 149 Levyn keskiosan ja kulmien erotuksen itseisarvon muutos kahden viikon varastoinnin jälkeen ja käyryydet ja kierous.

Käyryys pintaviilun syysuuntaan ja kierous koepareittain koerreltoivat selkeästi vanerin kosteuden erotuksen itseisarvon muutoksen kanssa. Mitä suuremmaksi levyn kulmien ja keskiosan kosteusero kasvaa, sitä enemmän levyt kieroutuvat. Tilanne kahden viikon varastoinnin jälkeen on esitetty kuvassa 149 ja neljän viikon varastoinnin jälkeen kuvassa 150.



Kuva 150 Levyn keskiosan ja kulmien erotuksen itseisarvo muutos neljän viikon varastoinnin jälkeen ja käyrydet ja kierous.

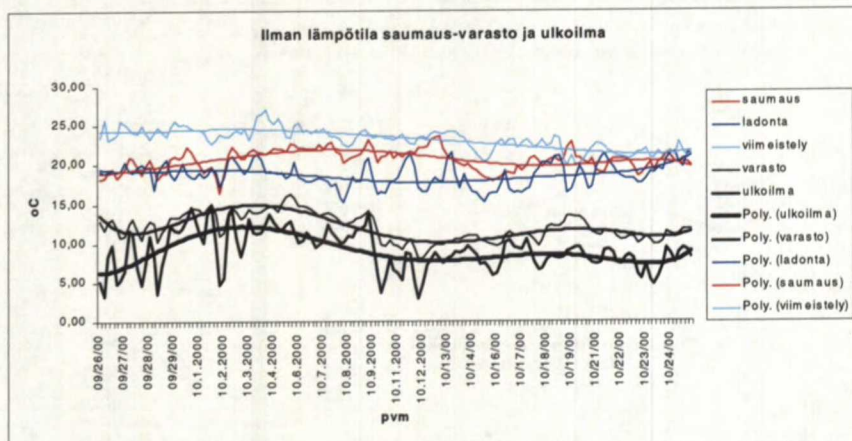
### 5.5.7. Ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja puun laskennallinen tasapainokosteus tehtaalla

Dataloggereita oli sijoitettu, kuten faktorikokeessa, mittaamaan ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa. Sijoituspaikat olivat:

- Ulkoilma
- Varasto
- Viimeistely
- Ladonta
- Sauma

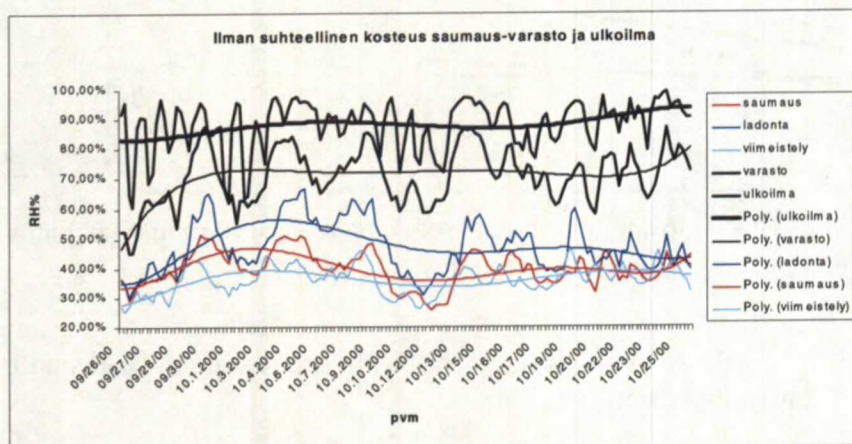
Kuvassa 151 on esitetty loggerien rekisteröimä ilman lämpötila välillä 26.9-25.10.2000. Kuvassa 152 on esitetty ilman suhteellinen kosteus samalla aikavälillä. Dataan on sovitettu kuudennen asteen polynomeja vertailun helpottamiseksi.





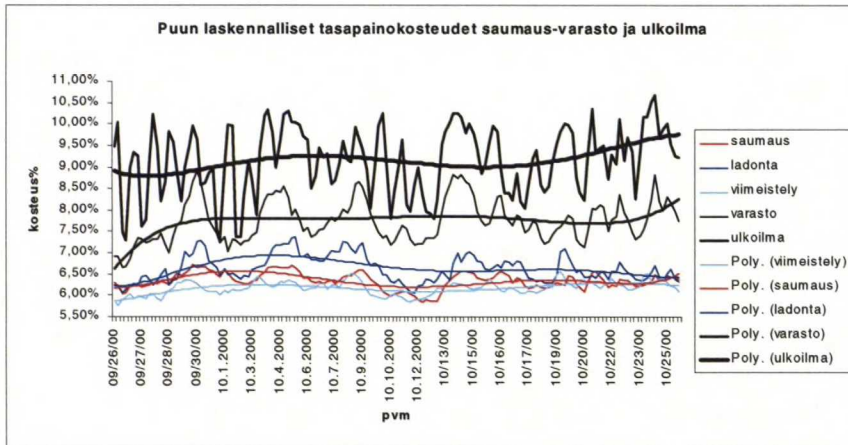
Kuva 151 Kaikkien dataloggerien mittaama ilman lämpötila.

Ilman lämpötila seuraa katetussa varastossa vielä varsin tarkasti ulkoilman lämpötilaa. Suhteellisen kosteuden kuvaajat ovat myös muodoltaan samanlaisia. Ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta on kaavan 1 avulla laskettu puun tasapainokosteudet ulkoilmassa ja eri kohdin tehdasrakennusta. Puun laskennalliset tasapainokosteudet on esitetty kuvassa 153.



Kuva 152 Kaikkien loggerien mittaama ilman suhteellinen kosteus.

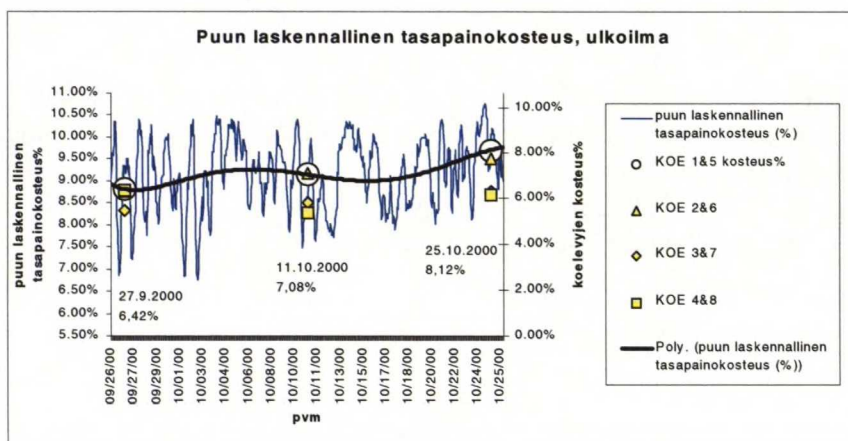
Puun laskennallisen tasapainokosteuden kuvaajia verrattaessa faktorikokeen vastaaviin kuvaajiin, eivät tasapainokosteudet tehtaan sisällä seuraa enää yhtä tarkasti ulkoilman laskennallista tasapainokosteutta. Faktorikoe ajoittautui kesäkuukausille, jolloin tehdashalleja ei lämmitetty. Ilman lämpötilan kuvaajista tämä onkin selvästi nähtävissä.



Kuva 153 Kaikkien loggerien datasta lasketut puun tasapainokosteudet.

Tehtaan sisällä puun laskennalliset tasapainokosteudet seuraavat toisiaan selvästi.

Kuvan 154 koordinaatiston vasemmanpuoleinen pysty akseli (1. y-akseli) on puun laskennalliselle tasapainokosteudelle. Oikeanpuoleinen pysty akseli (2. y-akseli) on koelevyjen mitatulle kosteudelle. Vaaka-akseli (x-akseli) on aika-akseli suoritettujen käyrysmittausten ajalta. Kuvassa on esitetty ulkoilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mukaan laskettu puun tasapainokosteus ja koelevyjen kosteudet kolmelta mittakerralta ryhmittäin. Puun laskennallisen tasapainokosteuden kuvaajaan on sovitettu kuudennen asteen polynomi trendiä kuvaamaan. Kuvassa on myös kolme käyrysmittausten päivämäärää ja koivupintaiseksi jätetun koelevyryhmän näiltä päiviltä mitatut kosteudet. Merkit käyrysmittausten päivämäärien kohdalla kuvaavat eri koelevyryhmien mitattuja kosteuksia. Koivupintaist levyt seuraavat tasapainokosteuden muutosta esittävän polynomin käyrän muotoa tarkalleen.



Kuva 154 Puun laskennallinen tasapainokosteus ulkoilmassa ja koelevyjen mitatut kosteudet ryhmittäin.



Laskennalliset tasapainokosteudet eivät seuranneet ulkoilman olosuhteita yhtä tarkasti kuin faktorikokeessa. Puun tasapainokosteus vaihtelee tehtaan sisällä juuri ulkoilman olosuhteiden mukaan. Kappaleessa '5.1.2 Viilun kosteus kuivaajien jälkeen ja ladonnassa' käsiteltiin ulkoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta sekä viilujen kosteutta kuukausittain.

5.5.8. Levyjen käyryys ja kierous

Ryhmiä ja päämittojen väliset t-testit

Taulukossa 16 on esitetty t-testien tulokset käyryydelle ja kieroudelle koepareittain. Taulukossa 17 on esitetty t-testien tulokset päämittoittain.

Taulukko 16 Levyjen käyryyden ja kierouden t-testien tulokset ryhmittäin. Sininen solu merkitsee tilastollisesti merkittävää eroa.

			green	transparent	transparent 2 vkoa
BB/BB	puristus mm/m	eyysuunta syitä vastaan			
	2 vkoa mm/m	eyysuunta syitä vastaan			
	4 vkoa mm/m	eyysuunta syitä vastaan			
		kierous			
	puristus+2 vkoa+4 vkoa	eyysuunta syitä vastaan	0.63	0.63	
green		kierous	0.77		
	puristus mm/m	eyysuunta syitä vastaan			
	2 vkoa mm/m	eyysuunta syitä vastaan			
	4 vkoa mm/m	eyysuunta syitä vastaan			
		kierous			
transparent	puristus+2 vkoa+4 vkoa	eyysuunta syitä vastaan			0.78
		kierous			
	puristus mm/m	eyysuunta syitä vastaan			
	2 vkoa mm/m	eyysuunta syitä vastaan			
	4 vkoa mm/m	eyysuunta syitä vastaan			
		kierous			0.78
	puristus+2 vkoa+4 vkoa	eyysuunta syitä vastaan			
		kierous			

Puristuksen jälkeen koepareista heti pinnoitetut eroavat tilastollisesti merkittävästi kaikista muista ryhmistä. Eroa on verrattuna kaikkiin muihin ryhmiin, paitsi koivupintaisiin levyihin, sekä käyryydessä molempiin suuntiin että kieroudessa. Kahden viikon varastoinnin jälkeen heti pinnoitettujen käyryys syitä vastaan ja kierous eroavat edelleen toisista ryhmistä. Neljän viikon varastoinnin jälkeen enää lakattujen ja heti pinnoitettujen käyryys ja kierous eroavat tilastollisesti merkittävästi toisistaan.

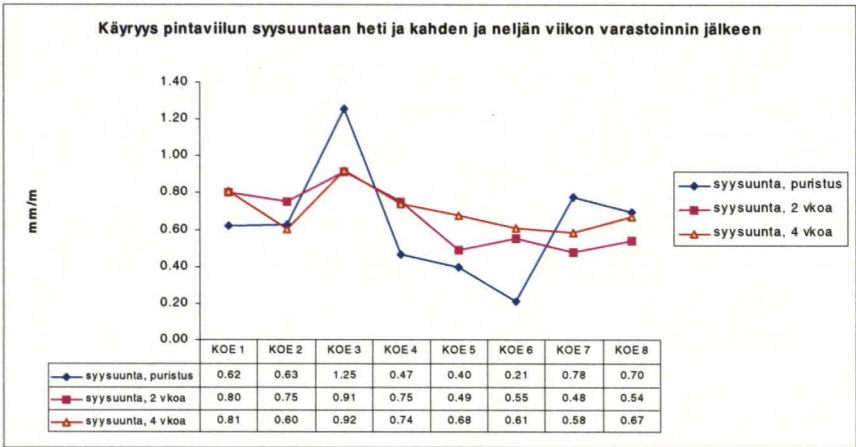
Taulukko 17 Levyjen käyryyden ja kierouden t-testien tulokset päämitoittain. Sininen solu merkitsee tilastollisesti merkittävää eroa.

50"			60"
	puristus mm/m	syysuunta syitä vastaan kierous	
	2 vkoa mm/m	syysuunta syitä vastaan kierous	
	4 vkoa mm/m	syysuunta syitä vastaan kierous	
	puristus+2 vkoa+4 vkoa mm/m	syysuunta syitä vastaan kierous	

Päämitoittain tilastollisesti merkittäviä eroja on ainoastaan puristuksen ja kahden viikon varastoinnin jälkeisissä syysuuntaisissa käyryyksissä.

Käyryys ja kierous kokeittain

Kuvissa 155-157 on esitetty käyryydet molempiin suuntiin ja kierous puristuksen jälkeen ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen.

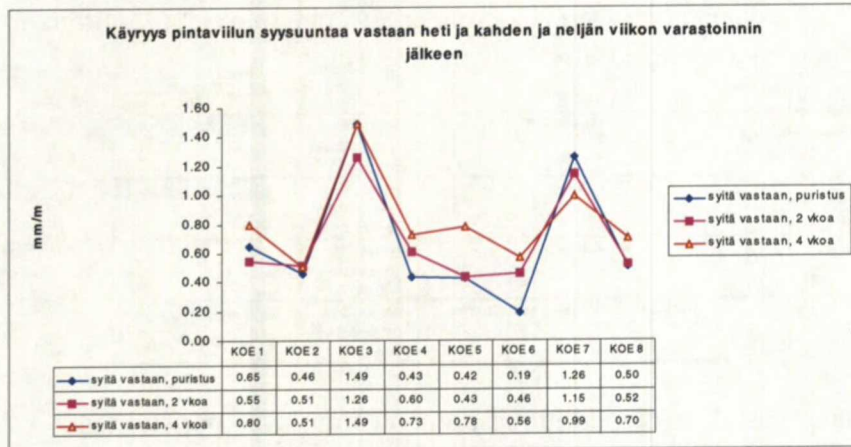


Kuva 155 Käyryys pintaviilun syysuuntaan heti ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen kokeittain.

Kuvassa 155 on esitetty syysuuntainen käyryys kokeittain kaikilta kolmelta mittakerralta. Erot kokeiden välillä ovat puristuksen jälkeen selviä, mutta tasaantuvat varastoinnin aikana. Neljän viikon varastoinnin jälkeen käyryys pintaviilun syiden suuntaan on kasvanut kaikissa ryhmissä lukuunottamatta heti pinnoitettuja levyjä.

Neljän viikon varastoinnin jälkeen ei koeparien syysuuntaisessa käyryydessä ole tilastollisesti merkittäviä eroja.

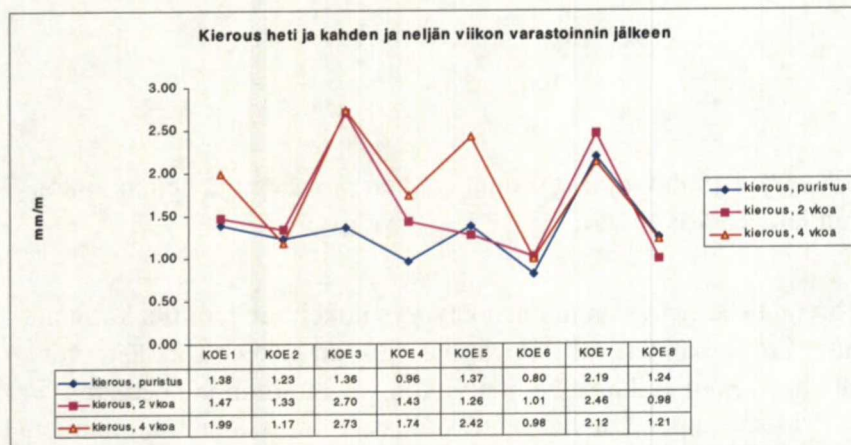




Kuva 156 Käyryys pintaviilun syysuuntaa vastaan heti ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen kokeittain.

Kuvassa 156 on esitetty käyryys syitä vastaan kokeittain kaikilta kolmelta mittakerralta. Neljän viikon varastoinnin jälkeen käyryys pintaviilun syitä vastaan on kasvanut kaikissa ryhmissä lukuunottamatta heti pinnoitettuja levyjä, aivan kuten edellä. Erot eivät tasaannu kokonaan varastoinnin aikana ja lakattujen levyjen, koivupintaisten ja kahden viikon varastoinnin jälkeen pinnoitettujen levyjen käyryys eroavat ensimmäisen varastointijakson jälkeen heti pinnoitettujen levyjen käyryydestä.

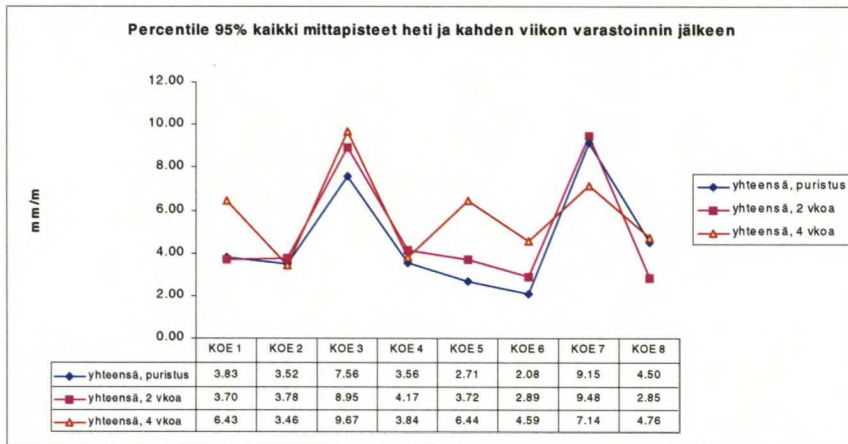
Neljän viikon varastoinnin jälkeen vain lakattujen ja heti pinnoitettujen levyjen pintaviilun syysuunnan vastaiset käyryydet eroavat tilastollisesti toisistaan.



Kuva 157 Kierous heti ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen kokeittain.

Kuvassa 157 on esitetty kierous kokeittain kaikilta kolmelta mittakerralta. Neljän viikon varastoinnin jälkeen kierous on kasvanut kaikissa ryhmissä. Erot eivät tasaannu kokonaan varastoinnin aikana ja lakattujen levyjen, ja kahden viikon varastoinnin jälkeen pinnoitettujen levyjen kierous eroavat ensimmäisen varastointijakson jälkeen heti pinnoitettujen levyjen kieroudesta.

Neljän viikon varastoinnin jälkeen vain lakattujen ja heti pinnoitettujen levyjen kieroudet eroavat tilastollisesti toisistaan.



Kuva 158 Fraktiili 95%:n arvot heti ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen kokeittain.

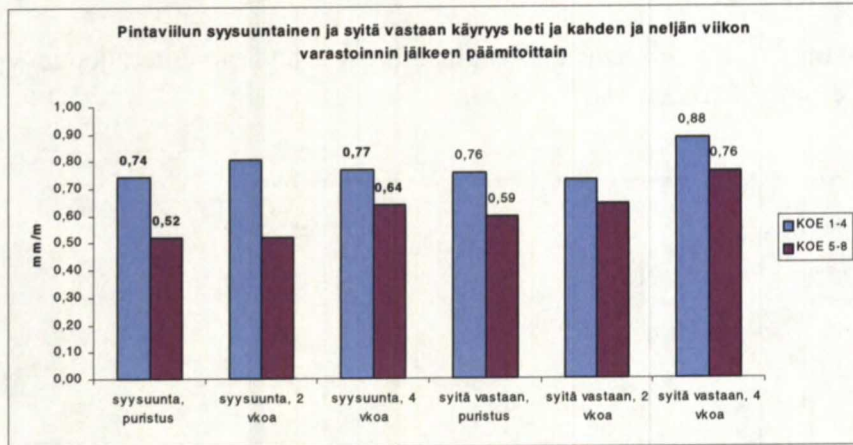
Kuvassa 158 on esitetty kaikkien mittapisteiden 95%:n fraktiiliarvot kokeittain kaikilta kolmelta mittakerralta. Puristuksen jälkeen heti pinnoitetut levyt ovat selvästi muita ryhmiä käyristyneempiä. Neljän viikon varastoinnin jälkeisissä mittaustuloksissa näkyy selvästi miten koivupintaiset levyt ovat eläneet eniten tasapainokosteuden muutosten mukana.

### Käyryys päämitoittain

Kuvassa 159 on esitetty käyryydet molempiin suuntiin puristuksen ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen päämitoittain. Ero pintaviilun syysuuntaisessa käyryydessä tasaantuu varastoinnin aikana.

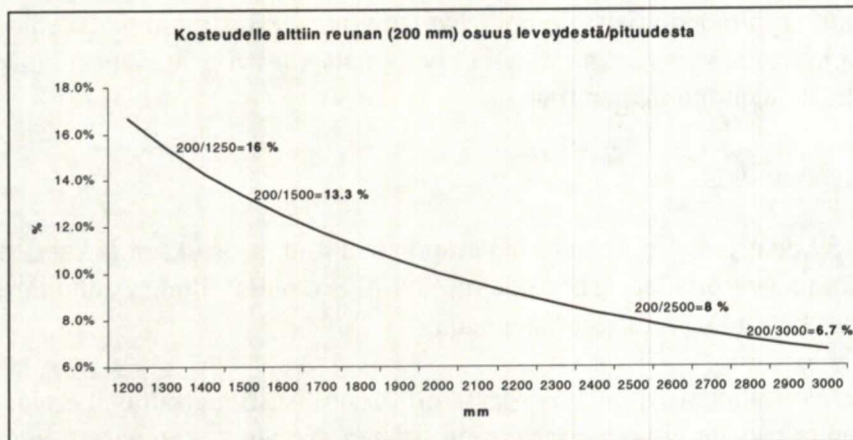
Päämittojen syysuuntaisessa käyryydessä oli tilastollisesti merkittäviä eroja puristuksen ja kahden viikon varastoinnin jälkeen. Neljän viikon varastoinnin jälkeen ei tilastollisesti merkittäviä eroja enää ole.





Kuva 159 Käyryydet molempiin suuntiin puristuksen ja kahden ja neljän viikon varastoinnin jälkeen päämitoittain.

Kuvassa 160 on esitetty kosteudelle alttiin reunan (200 mm) suhteellinen osuus levyn pituudesta/leveydestä. Koelevyjä valmistettiin rinnakkaiskappeleet kahdessa päämitassa. Liimamitat olivat **1300** x 2600 ja **1600** x 2600. Levyt sahattiin mittoihin 1250/1500 x 2500. Pintaviilun syysuunnassa kosteudelle alttiin reunavyöhykkeen osuus on siis suurempi juuri syysuunnassa 50” päämitassa.



Kuva 160 Kosteudelle alttiin reunan (200 mm<sup>190</sup>) osuus levyn pituudesta/leveydestä.

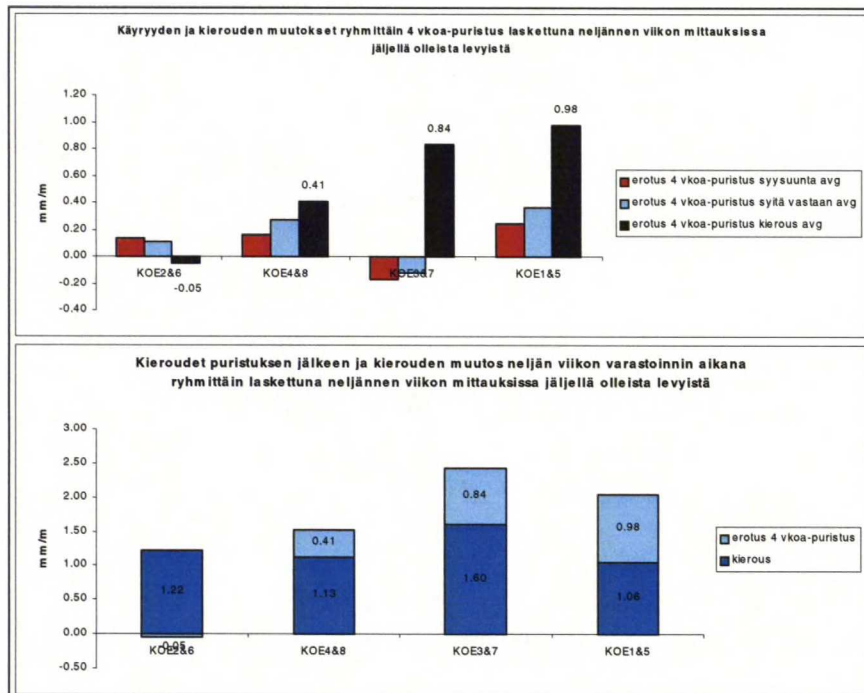
### Käyryyden ja kierouden muutokset ryhmittäin viimeisen mittakerran levyillä

Kuvassa 161 on esitetty käyryyden ja kierouden muutokset ryhmittäin neljän viikon varastoinnin jälkeen. Koeparit ovat kuvassa kierouskeskiarvojen erotuksen mukaisessa järjestyksessä. Erotukset on laskettu käyttäen vain neljännen viikon mittauksissa jäljellä olleiden levyjen arvoja. Mukana eivät siis ole lainkaan

<sup>190</sup> Absetz 1999, s.55

aikaisemmilla kerroilla (puristus ja 2 vkoa, yhteensä 40+40 levyä) kosteus- ja lujuuskokeisiin palasteltujen levyjen käyryys- ja kierousmittausten tuloksia.

Lakattujen levyjen kierous ei ole varastoinnin aikana kasvanut lainkaan. Kahden viikon varastoinnin jälkeen pinnoitettujen levyjen kierous kasvoi vähemmän kuin heti pinnoitettujen ja koivupintaisten.



Kuva 161 Käyryyden ja kierouden muutokset koepareittain puristuksen ja varastointijaksojen jälkeen.

#### 5.5.9. Tiheyden, keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuden ja taivutuskimmomoduulin vaikutus käyritymiseen

Levyjen kosteutta ja kosteuden muutoksia seurattiin suhteellisen suurella otoskoolla (40 levyä/mittakerta) ja kosteuden mittamiseksi eri kohdin levyä oli ne palasteltava. Aikaisempien tutkimuksien ja ensimmäisen tehdaskokeen tuloksien perusteella levyjen tiheydellä, lujuudella ja kimmomoduulilla näytti olevan selvä vaikutus käyritymiseen. Ensimmäisistä kosteuspalalevyistä päätettiin siksi ottaa koestuspalat taivutuslujuudelle ja keskimmäisen liimasauman vetolujuudelle.

#### Ryhmien väliset t-testit

Taulukossa 18 on esitetty t-testien tulokset vanerin kosteudelle, liimasauman poikittaisvetolujuudelle ja vanerin taivutuslujuudelle ja -kimmomoduulille pintaviilun syysuuntaan ja syitä vastaan koeparien välillä.



Kasper Sokka

Taulukko 18 T-testien tulokset vanerin kosteudelle, liimasauman lujuudelle ja taivutuslujuudelle ja –kimmomoduulille koeparien välillä. Sininen solu merkitsee tilastollisesti merkittävää eroa.

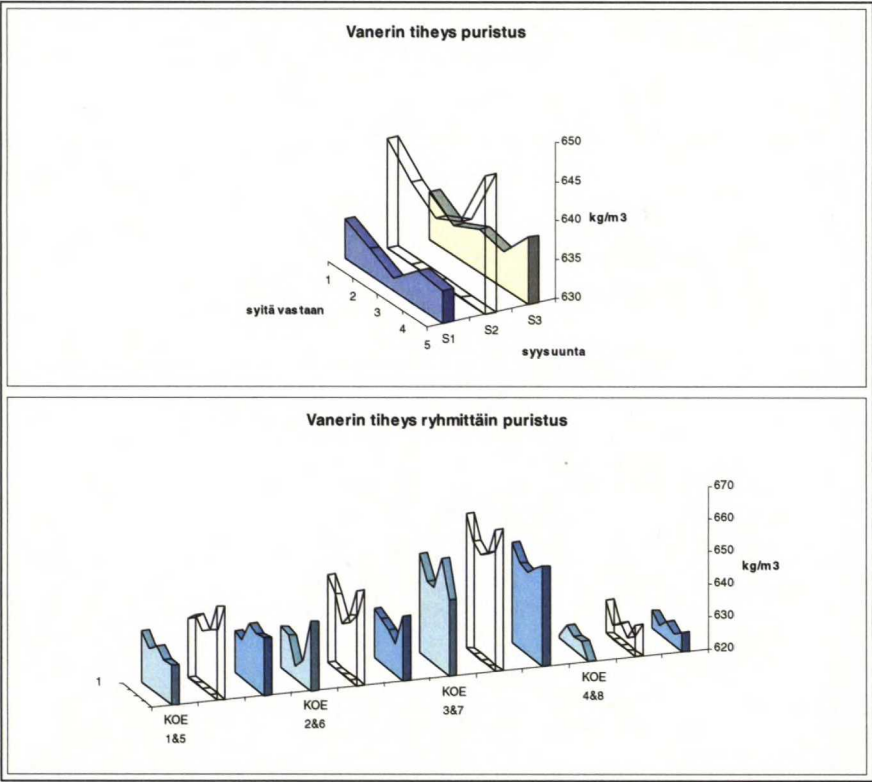
		green	transparent	transparent 2 vkoa	avg	std
	viilun kosteus				3.20%	1.82%
BB/BB	vanerin kosteus				6.62%	0.81%
	liimasauman poikittaisvetolujuus				1454.20	244.25
syysuunta	taivutuslujuus				2061.24	167.12
	taivutuskimmomoduuli				6939.46	371.45
syitä vastaan	taivutuslujuus				1625.74	226.56
	taivutuskimmomoduuli				5122.31	536.85
	viilun kosteus				2.91%	1.18%
green	vanerin kosteus				6.34%	0.90%
	liimasauman poikittaisvetolujuus				1366.37	304.14
syysuunta	taivutuslujuus				1994.39	210.31
	taivutuskimmomoduuli				6839.88	510.27
syitä vastaan	taivutuslujuus				1598.23	284.35
	taivutuskimmomoduuli				5063.04	647.86
	viilun kosteus				2.57%	0.91%
transparent	vanerin kosteus				5.46%	0.79%
	liimasauman poikittaisvetolujuus				1443.92	273.75
syysuunta	taivutuslujuus				2058.45	274.12
	taivutuskimmomoduuli				7236.03	447.03
syitä vastaan	taivutuslujuus				1516.04	207.56
	taivutuskimmomoduuli				5412.09	482.77
				transparent 2 vkoa	3.19%	0.97%
					6.35%	0.85%
					1332.99	245.99
					1985.98	169.90
					7001.69	350.53
					1553.93	223.47
					5011.23	438.52

Taulukosta 18 näkyvät muiden ryhmien tilastollisesti merkittävät erot verrattuna heti pinnoitettuihin levyihin. Kaikkien muiden ryhmien viilun kosteudet, liimasauman lujuuDET ja kimmomoduulit eroavat heti pinnoitetuista levyistä.

Levyjen tiheys

Kuvissa 162 ja 163 on esitetty levyjen tiheyksien keskiarvot eri kohdin levyä puristuksen jälkeen sekä sama koepareittain.

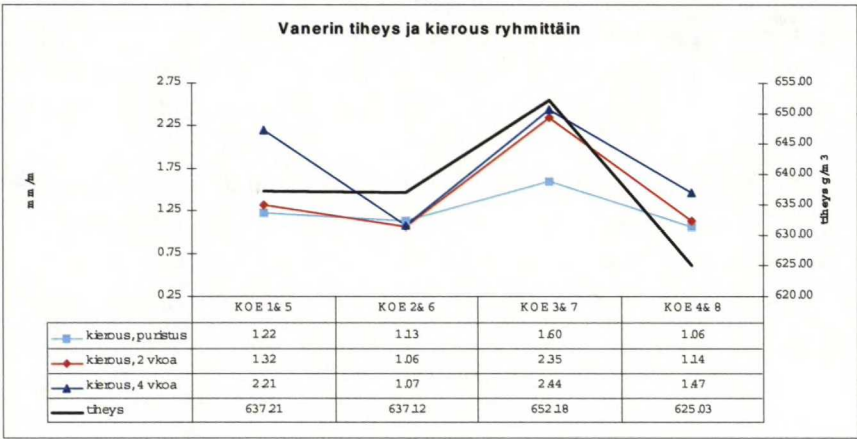
Levyjen sisäinen tiheyden jakauma puristuksen jälkeen on kaikilla ryhmillä hyvin samanlainen. Levyn tiheys on keskellä suurempi verrattuna pitkiin sivuihin. Siirryttäessä keskeltä kohti lyhyitä sivuja tiheys nousee.



Kuva 162 Levyjen tiheyksien keskiarvot eri kohdin levyä (kuva 104) puristuksen jälkeen yhteensä ja koepareittain.

Levyjen tiheyden keskiarvo on suurin puristuksen jälkeen heti pinnoitetussa koeparissa.

Kuvassa 163 on esitetty vanerin tiheys ja kierous ryhmittäin. Kierous kaikilta mittakerroilta tiheyden funktiona on esitetty liitteessä 3. Kierous korreloi varastointijaksojen jälkeen tiheyden kanssa. Tiheyden kasvaessa myös levyjen kierous kasvaa.



Kuva 163 Levyjen tiheys ja kierous kaikilta mittakerroilta ryhmittäin.

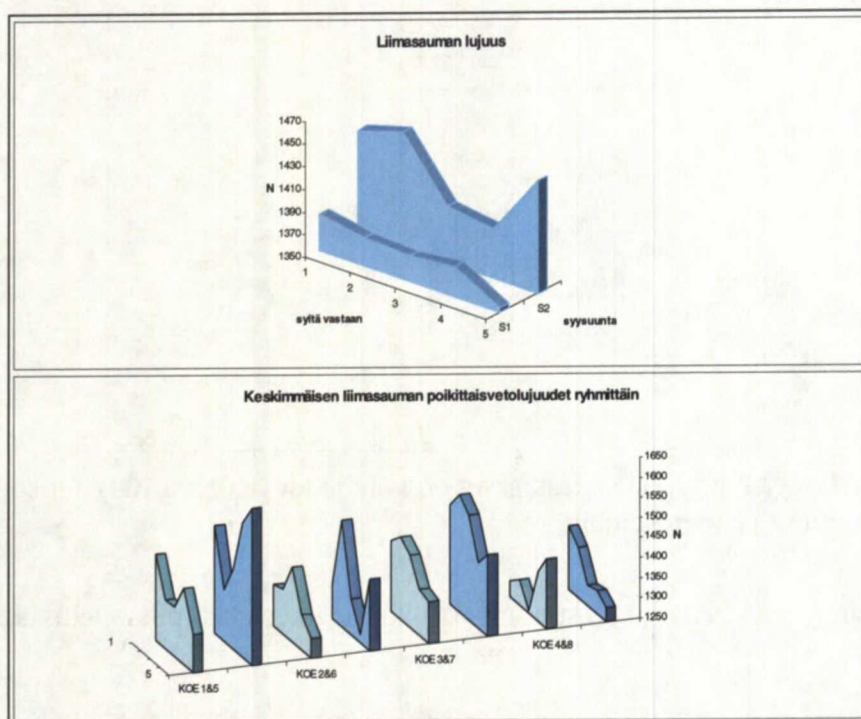


Kasper Sokka

Keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus

Kuvassa 164 on esitetty levyjen keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuksien keskiarvot eri kohdin levyä puristuksen jälkeen sekä sama koepareittain.

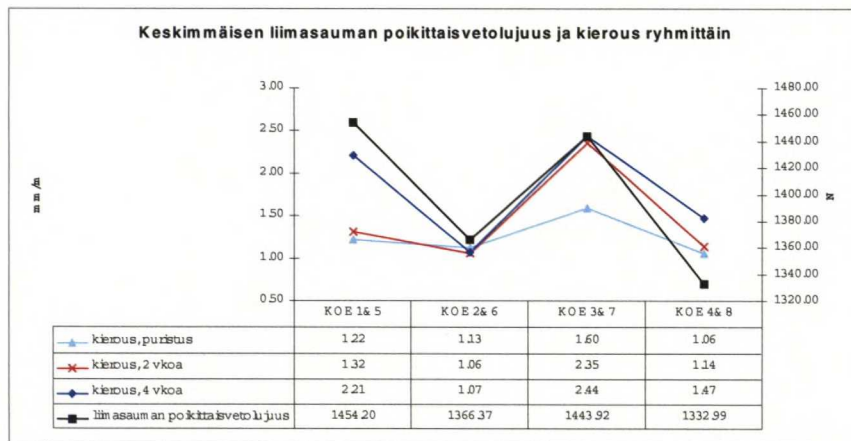
Keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuudet ovat levyn toisella pitkällä sivulla toista sivua suurempia.



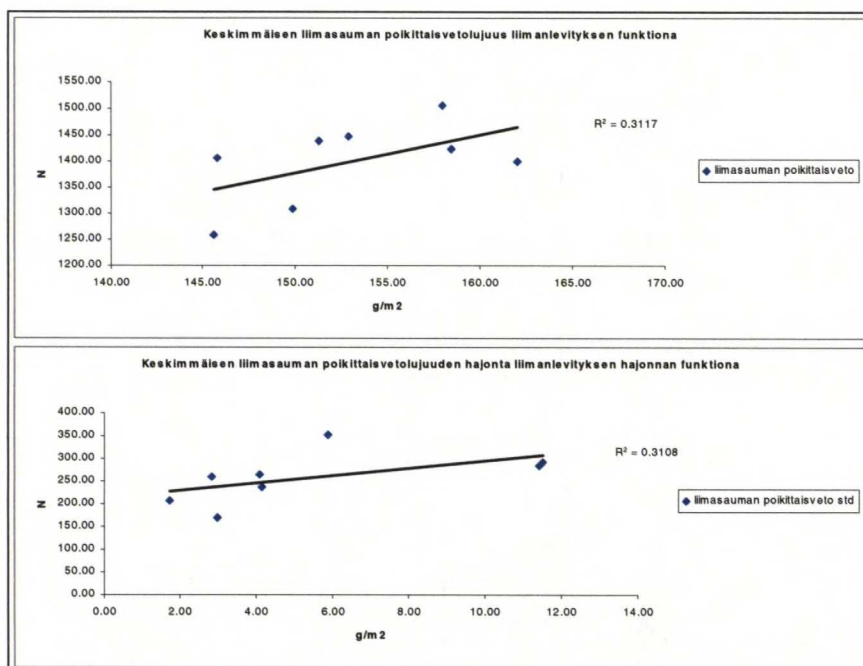
Kuva 164 Levyjen keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuden keskiarvot eri kohdin levyä (kuva 104) puristuksen jälkeen yhteensä ja koepareittain.

Kuvassa 165 on esitetty vanerin keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuus ja kierous ryhmittäin. Kierous kaikilta mittakerroilta poikittaisvetolujuuden funktiona on esitetty liitteessä 3. Kierous korreloi varastointijaksojen jälkeen poikittaisvetolujuuden kanssa. Lujuuden kasvaessa myös levyjen kierous kasvaa.

Kuvassa 166 on esitetty keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus ja lujuuden hajonta liimanlevityksen ja sen hajonnan funktiona. Liimanlevitys korreloi liimasauman lujuuden kanssa. Liimanlevitysmäärän kasvaessa liimasauman poikittaisvetolujuus kasvaa. Liimanlevityksen hajonnan kasvaessa poikittaisvetolujuuden hajonta kasvaa.



Kuva 165 Levyjen keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus ja kierous kaikilta mittakerroilta ryhmittäin.

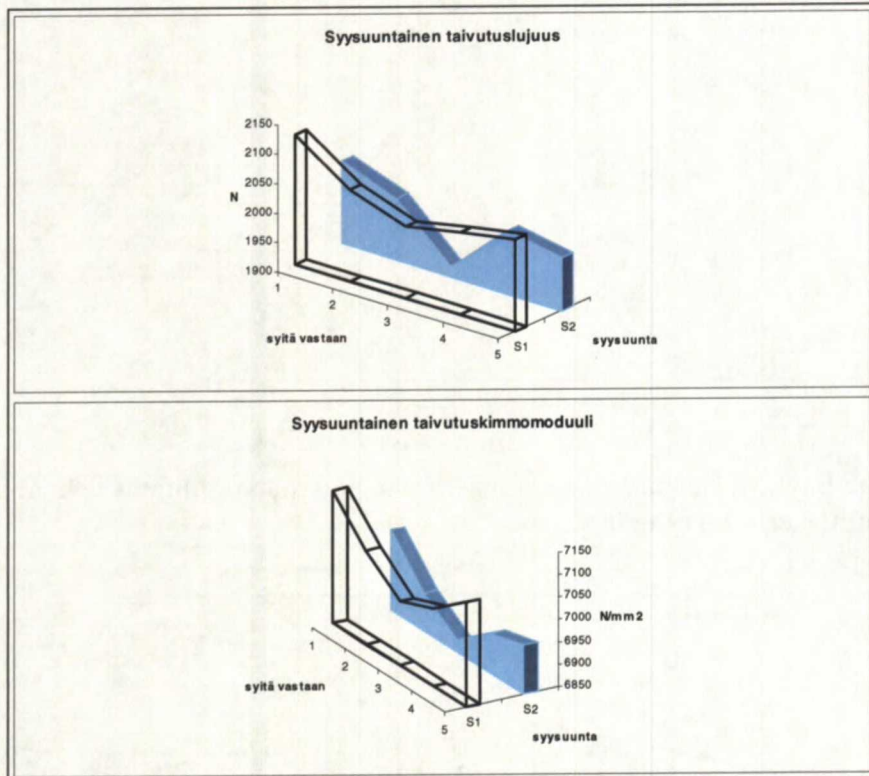


Kuva 166 Keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus ja lujuuden hajonta liimanlevitysmäärän ja sen hajonnana funktiona.

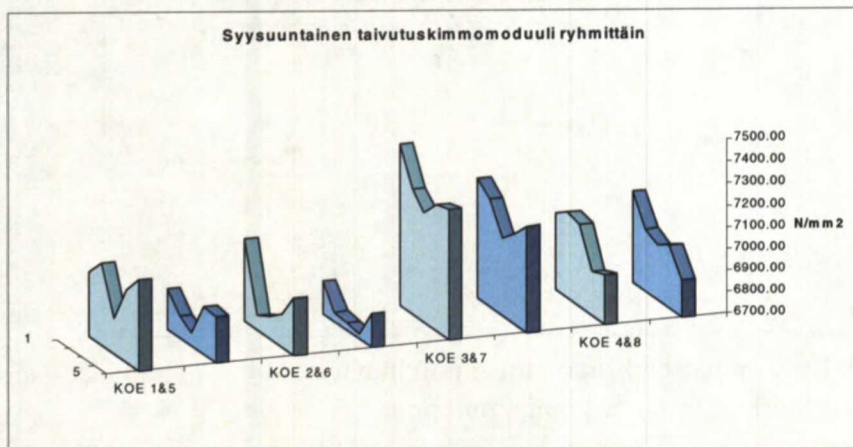
### Levyjen taivutuslujuus ja kimmomoduuli pintaviilun syysuuntaan

Kuvassa 167 on esitetty levyjen taivutuslujuuden ja kimmomoduulin pintaviilun syysuuntaiset keskiarvot eri kohdin levyä puristuksen jälkeen sekä kuvassa 168 kimmomoduulit koepareittain.





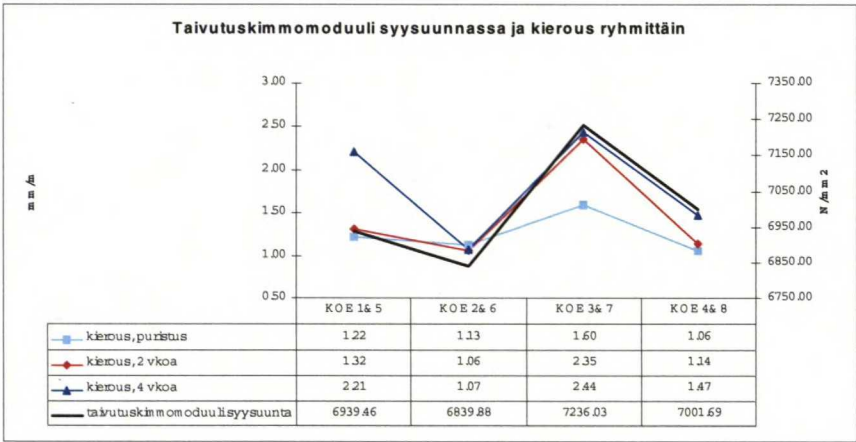
Kuva 167 Levyjen taivutuslujuuden ja kimmomoduulin keskiarvot pintaviilun syysuuntaan eri kohdin levyä (kuva 104) puristuksen jälkeen yhteensä.



Kuva 168 Levyjen taivutuskimmomoduulin keskiarvot pintaviilun syysuuntaan eri kohdin levyä (kuva 104) puristuksen jälkeen koepareittain.

Taivutuslujuuden ja kimmomoduulin keskiarvot pintaviilun syysuuntaan ovat levyn toisella pitkällä sivulla toista suuremmat.

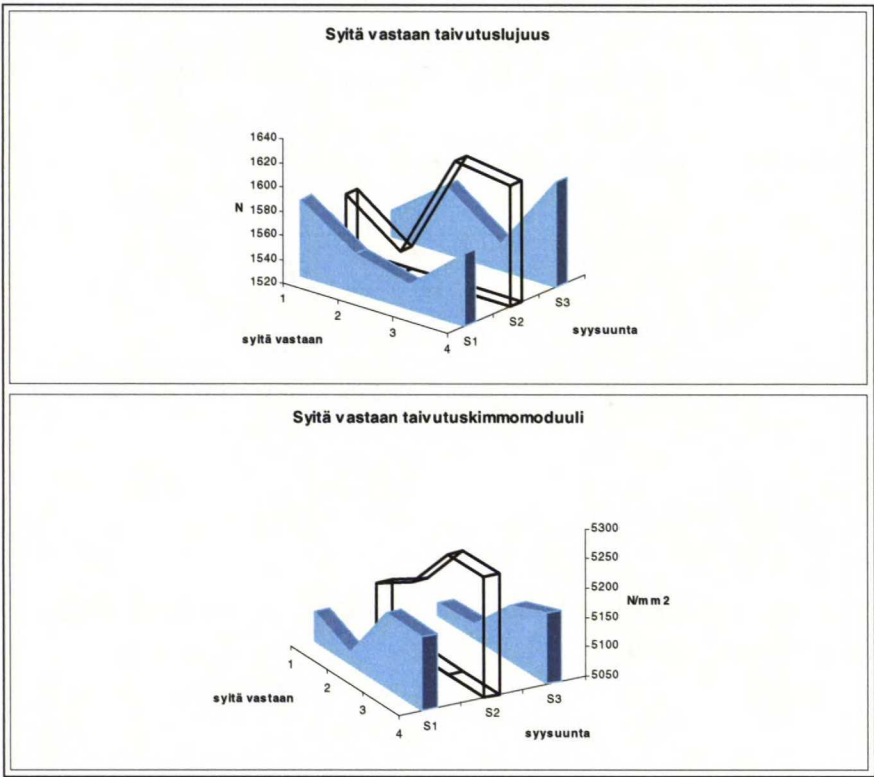
Kuvassa 169 on esitetty vanerin taivutuskimmomoduuli pintaviilun syysuuntaan ja kierous. Kierous kaikilta mittakerroilta kimmomoduulin funktiona on esitetty liitteessä 3. Kierous korreloi varastointijaksojen jälkeen kimmomoduulin kanssa. Kimmomoduulin kasvaessa myös levyjen kierous kasvaa.



Kuva 169 Levyjen pintaviilun syysuuntainen taivutuskimmomoduuli ja kierous kaikilta mittakerroilta ryhmittäin.

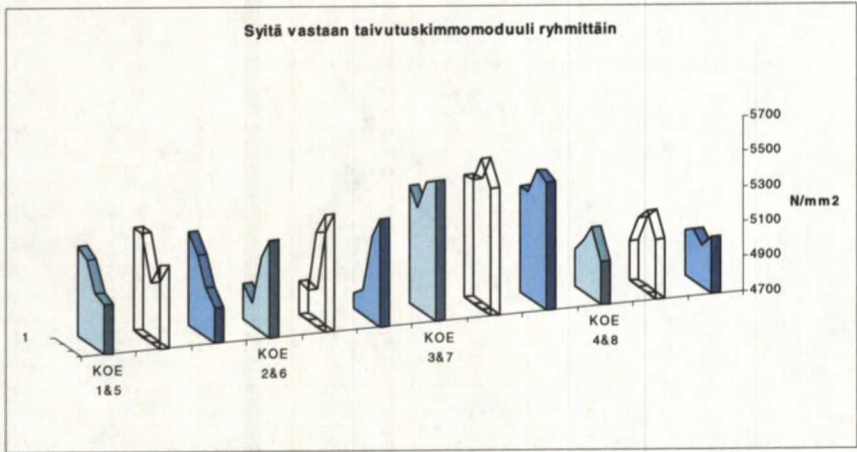
Levyjen taivutuslujuus ja kimmomoduuli pintaviilun syysuuntaa vastaan

Kuvassa 170 on esitetty levyjen taivutuslujuuden ja kimmomoduulin pintaviilun syitä vastaan keskiarvot eri kohdin levyä puristuksen jälkeen sekä kuvassa 171 kimmomoduulit koepareittain.



Kuva 170 Levyjen taivutuslujuuden ja kimmomoduulin keskiarvot pintaviilun syitä vastaan eri kohdin levyä (kuva 104) puristuksen jälkeen yhteensä.

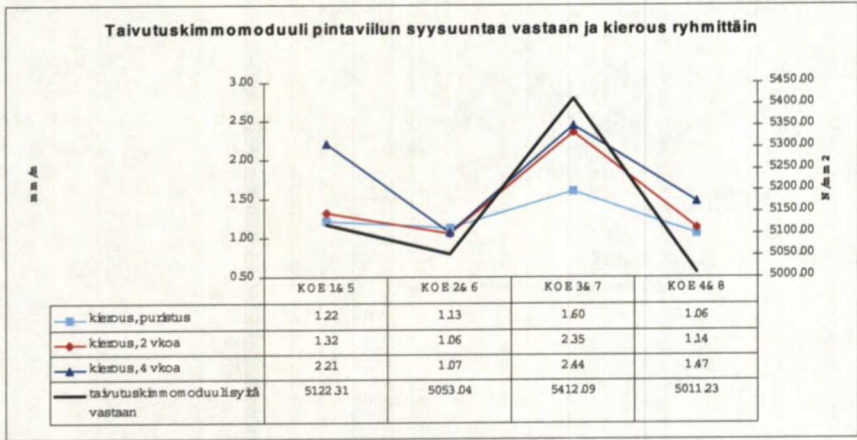




Kuva 171 Levyjen taivutuskimmomoduulin keskiarvot pintaviilun syitä vastaan eri kohdin levyä (kuva 104) puristuksen jälkeen koepareittain.

Taivutuslujuuden ja erityisesti kimmomoduulin keskiarvot pintaviilun syysuuntaa vastaan ovat levyn toisella lyhyellä sivulla toista suuremmat. Lujuus ja kimmomoduuli ovat levyn pitkän sivun suunnassa keskellä suurempia kuin reunoilla.

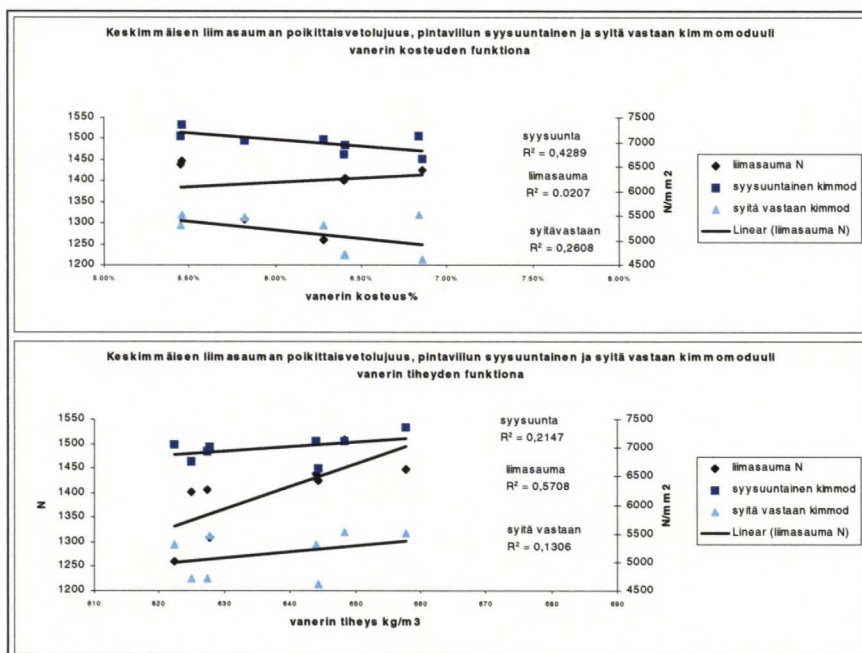
Kuvassa 172 on esitetty vanerin taivutuskimmomoduuli pintaviilun syysuuntaa vastaan. Kierous kaikilta mittakerroilta kimmomoduulin funktiona on esitetty liitteessä 3. Kierous ei korreloi kimmomoduulin kanssa. Ryhmittäisessä tarkastelussa kimmomoduulin kasvaessa myös levyjen kierous kasvaa.



Kuva 172 Levyjen pintaviilun syysuuntaa vastaan taivutuskimmomoduuli ja kierous kaikilta mittakerroilta ryhmittäin.

### Levyjen keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuudet ja kimmomoduulit tiheyden ja kosteuden funktiona

Kuvassa 173 on esitetty keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus, pintaviilun syysuuntainen ja syiden vastainen taivutuskimmomoduuli vanerin kosteuden ja tiheyden funktiona kokeittain. Liimasauman poikittaisvetolujuus korreloi tiheyden kanssa. Tiheyden kasvaessa poikittaisvetolujuus kasvaa. Syysuuntainen taivutuskimmomoduuli korreloi levyjen kosteuden ja tiheyden kanssa. Kosteuden kasvaessa kimmomoduuli pienenee ja tiheyden kasvaessa kimmomoduuli kasvaa. Levyn pintaviilun syiden vastainen taivutuskimmomoduuli korreloi kosteuden kanssa. Kosteuden kasvaessa kimmomoduuli pienenee.



Kuva 173 Keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus, pintaviilun syysuuntainen ja syiden vastainen kimmomoduuli levyjen kosteuden ja tiheyden funktiona kokeittain.

### Yhteenveto

Levyjen tiheyden keskiarvo on suurin puristuksen jälkeen heti pinnoitetussa koeparissa. Kierous korreloi varastointijaksojen jälkeen tiheyden kanssa. Tiheyden kasvaessa myös levyjen kierous kasvaa.

Kierous korreloi varastointijaksojen jälkeen keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuden kanssa. Lujuuden kasvaessa myös levyjen kierous kasvaa. Edelleen liimanlevitys korreloi liimasauman lujisuuden kanssa. Liimanlevitysmäärän kasvaessa liimasauman poikittaisvetolujuus kasvaa. Liimanlevityksen hajonnan kasvaessa poikittaisvetolujuuden hajonta kasvaa.



Kasper Sokka

Kierous korreloi varastointijaksojen jälkeen pintaviilun syysuuntaisen taivutuskimmomoduulin kanssa. Kimmomoduulin kasvaessa myös levyjen kierous kasvaa. Kierous ei korreloi pintaviilun syiden vastaisen taivutuskimmomoduulin kanssa, mutta ryhmittäisessä tarkastelussa kimmomoduulin kasvaessa myös levyjen kierous kasvaa.

Keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus korreloi levyjen tiheyden kanssa. Tiheyden kasvaessa poikittaisvetolujuus kasvaa. Pintaviilun syysuuntainen taivutuskimmomoduuli korreloi levyjen kosteuden ja tiheyden kanssa. Kosteuden kasvaessa kimmomoduuli pienenee ja tiheyden kasvaessa kimmomoduuli kasvaa. Levyn pintaviilun syiden vastainen taivutuskimmomoduuli korreloi kosteuden kanssa. Kosteuden kasvaessa kimmomoduuli pienenee.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET SEKÄ SUOSITUKSIA JA JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSIA

### 6.1. VIILUJEN JA VANERIN KOSTEUS JA NIIDEN VAIKUTUS MUOTOVÄÄRISTYMIIN

#### 6.1.1. Viilujen kosteus

Viilujen kosteus ja kosteuden hajonta vaikuttavat käyristymiseen ja kieroutumiseen. Kosteushajonta eri viilukerroksien välillä on erityisen epätoivottava tilanne. Viilujen kosteuserot aiheuttavat rakenteeseen jännityksiä, jotka ilmenevät muotovääristyminä valmiissa levyissä. Lisäksi viilujen kosteus määrittää pitkälti ladelman ja valmiin levyn kosteuden. Normaalitilassa tuotannossa osa viiluista tulee ladontaan suoraan kuivauksesta ja osa välivarastosta. Viilujen kosteudessa on huomattavaa hajontaa myös heti kuivauksen jälkeen. Kuivausprosessi ei ole riittävän hyvin hallinnassa.

Jos ladonnassa pyritään käyttämällä samanikäisiä viiluja minimoimaan viilukerrosten välisiä kosteuseroja, vaatii se jonkinlaisen viiluvaston kierrätysjärjestelmän. Mahdollista on viivakoodein merkata viilukuormat, jolloin lukulaite ilmoittaa kuivauspäivän. Erillinen viiluvasto, jossa ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus on tarkoin hallittavissa, olisi kieroutumiselle arkoihin tuotteisiin käytettäville viiluille paras ratkaisu.

Viilujen kosteuden muutoksia kuormissa tutkimalla on selvitettävä miten nopeasti kuormien kosteus muuttuu varastoinnin myötä eri olosuhteissa. Näin voidaan etsiä hyväksyttävät varastointiaikojen erot samaan rakenteeseen tuleville viiluille.

Ureaformaldehydiliimatun vanerin keskimääräinen viikkotuotanto Joensuussa on noin 150 m<sup>3</sup> vuosituotannon ollessa noin 8000 m<sup>3</sup>. Jos viiluvaston koko olisi noin 500 m<sup>3</sup>, eli kolmen viikon tuotanto ja säilytystapa kolme kuormaa päällekkäin, viilukuormat tarvitsisivat noin 150 m<sup>2</sup> lattiapintaa. Kun tähän laskee tarvittavan käytävä- ja järjestelytilan, tarvittava hallin pinta-ala kolmen viikon viiluvastolle on noin 350 m<sup>2</sup>. Viiluhallin rakennuskustannukset ovat noin 4000 mk/ m<sup>2</sup> ja tähän on vielä laskettava ilmastointi ja automatiikka noin 0,6 Mmk. Yhteensä tämän kokoinen halli siis maksaisi noin 2 Mmk.

Yhden viikon muovissa varastoinnin aikana viilujen kosteus tasaantui jonkin verran, mutta varastointiaika ei ollut riittävän pitkä ja muovitetut viilupinkat olivat eri kokoisia.

#### 6.1.2. Vanerin kosteus

Vanerin kosteus on todennäköisesti jo pitkälle tasaantunut kuumapuristuksen jälkeen. Levyjen kuumapuristus ajaa kosteuden liikkeelle erityisesti syysuuntaan. Kosteus tasaantuu nopeasti, kuitenkin siten, että heti puristuksen jälkeen levyjen nurkissa se on noin 1-2 % alhaisempi kuin keskellä levyä. Kosteuden



Kasper Sokka

tasaantuminen aiheuttaa kuumapuristuksen jälkeistä käyristymistä ja kieroutumista.

Kosteusepätasapaino valmiissa levyissä kasvattaa edelleen käyristymistä ja kieroutumista. Ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila määräävät levyn kosteuden. Näin ollen levyjen kosteus voi muuttua huomattavasti varastoinnin ja kuljetuksen aikana. Levyjen reunat ovat arimpia kosteuden muutoksille ja kieroutuminen lisääntyy levyn keskiosan ja kulmien kosteuseron kasvaessa.

Vanerin kosteus eri kohdin varastoa vaihtelee. Kostuminen ja kuivuminen tapahtuu eri tavoin riippuen siitä miten ilma kiertää varastossa ja miten kuormat sijaitsevat toisiinsa nähden.

Vanerin kosteus vaihtelee viulun kosteuden mukaan. Viilujen kosteus taas vaihtelee nykyisellään ulkoilman olosuhteiden mukaan. Vanerin keskikosteuden nosto viilujen kosteutta nostamalla todennäköisesti myös vähentäisi kostumisen aiheuttamia muodonmuutoksia.

Faktorikokeessa levyjen kosteus oli puristuksen jälkeen noin 6,5 % ja jo viikon varastoinnin jälkeen miltei 7,5 %. DIE tuoteperheen kokeissa heti pinnoitettujen levyjen kosteus pinnoituksen jälkeen oli noin 5,5 % ja valmisvanerivarastossa varastoinnin jälkeen kosteus oli noussut noin prosenttiyksikön. Koivupintaisiksi jätetyt ja lakatut levyt kostuivat 4 viikon varastoinnin aikana noin 1,5 prosenttiyksikköä.

Kosteuden tasaannuttaminen ennen pinnoitusta osoittautui oikeaksi toimenpiteeksi kieroutumisen ja käyristymisen vähentämiseksi ainakin melamiinipintaisten stanssilevyjen kohdalla. Lakatut levyt olivat kaikkein muotopysyvimpä. Koejärjestelyyn tulisi todeta onko tasaannuttaminen ennen pintakäsittelyitä suositeltava toimenpide kaikille pinnoitteille.

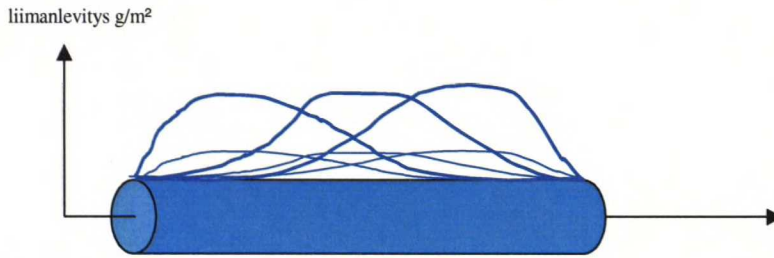
Pöllimittojen välillä ei levyjen kosteuksissa ollut eroja neljän viikon varastoinnin jälkeen.

## 6.2. LIIMAUS

Ladelmaan tuodaan lisää kosteutta liimauksessa ja osaltaan liiman sisältämä kosteus viilujen kosteuden kanssa määräävät aihion ja valmiin levyn kosteustason. Liimanlevityksen epätasaisuus näyttäisi vaikuttavan myös käyristymiseen ja kieroutumiseen ainakin ohuempien levyjen osalta.

Ensimmäisessä tehdaskokeessa suoritettu yksipuoleinen liimanlevitys ei vaikuttanut levityksen tasaisuuteen valssin pituussuunnassa. Koska ylä- ja alatelan levitysmäärien erot eivät enää aiheuta hajontaa liimanlevityksen kokonaishajonta pienenee yksipuoleisen liimanlevityksen kautta.

Kasper Sokka

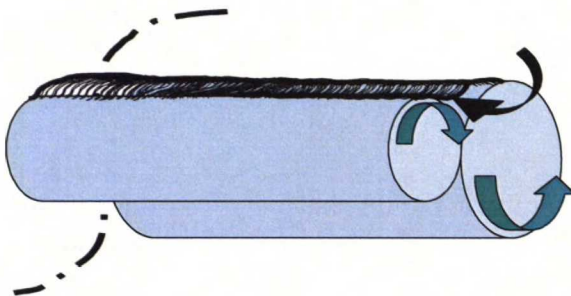


Kuva 174 Liimanlevityksen muuttuminen.

Kuvassa 174 on esitetty miten liimanlevitys vaihtelee valssin pituussuunnassa. Keskimäärin liimaa on enemmän viilun keskiosassa. Liimanlevityksen tasaisuus riippuu siitä mitkä ovat ladonnassa olevan viilun mitat, ladontavauhti sekä liiman ominaisuudet. Liimanlevitys yksittäisissä liimaviiluissa saattaa vaihdella miltei tasaisesta hyvinkin epätasaiseen, joko niin, että suuri osa liimasta on viilun keskellä, tai jommassa kummassa reunassa.

Liima syötetään nelitelalevittimellä doktor- ja levitystelan päälle jäävään vakoon yleensä joka toinen kerta oikealta ja joka toinen vasemmalta. Toinen tapa on käyttää kahta syöttökertaa peräkkäin puoleltaan (kuva 176).

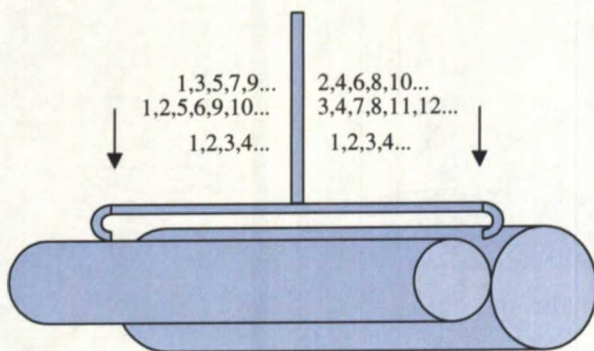
Ongelmaksi muodostuu vanhan liiman vaeltaminen uuden liiman edellä (kuva 175). Yleensä vanha liima kertyy keskelle valssia ja on selvästi nähtävissä tummempana raitana. Mahdotonta ei olisikaan liimansyötön muuttaminen siten, että syöttö tapahtuisi useampaan kohtaan valssia.



Kuva 175 Liiman syöttö doktor- ja levitystelan väliin.

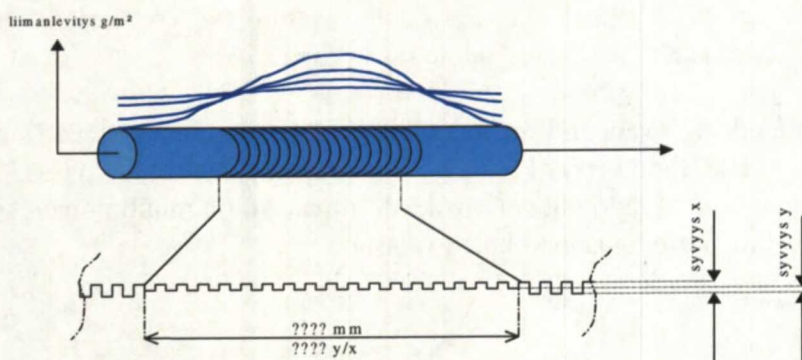
Kahden liimaerän peräkkäin puoleltaan syöttämisen tarkoitus on parantaa liiman sekoittumista, jolloin liima olisi yhtä tuoretta koko valssin pituudelta.





Kuva 176 Erilaisia liiman syöttötapoja.

Liiman syöttö voi tapahtua myös yhtäaikaan molemmilta reunoilta. Tähän on edelleen yhdistetty keskeltä kevennetty uritus (kuva 177). Yhtäaikaaisella syötöllä molemmin puolin pyritään estämään liimanlevityksen muuttuminen syötön kautta ja kevennettyllä urituksella tasataan valssin keskikosan ja reunojen epätasapainoa.<sup>191</sup>



Kuva 177 Keskeltä kevennetty uritus.<sup>192</sup>

Liiman syötöllä yhtäaikaaisesti molemmin puolin yhdistettynä kevennettyyn uritukseen on saatu aikaan parannuksia liimalevityksen tasaisuudessa ja ainakin 6,5 ja 9,0 mm:n parkettivanereiden muotopysyvyydessä.<sup>193</sup>

Koska liimassa on noin puolet vettä liimanlevityksen epätasaisuus aiheuttaa 1-2 % kosteuseroja viiluihin. Liiman mukana tullut kosteus siirtyy viiluihin ja määrää mikä on jännityksettömän tilan kosteus. Vaikka toinen pää liimaviiluissa olisikin systemaattisesti alhaisemmassa kosteudessa, ylimääräistä kuppiutumista ei pitäisi kuitenkaan syntyä, jos samassa kohtaa paksuussuunnassa liimamäärä on jotakuinkin vakio.<sup>194</sup>

<sup>191</sup> Pasanen, I.

<sup>192</sup> Pasanen, I.

<sup>193</sup> Pasanen, I.

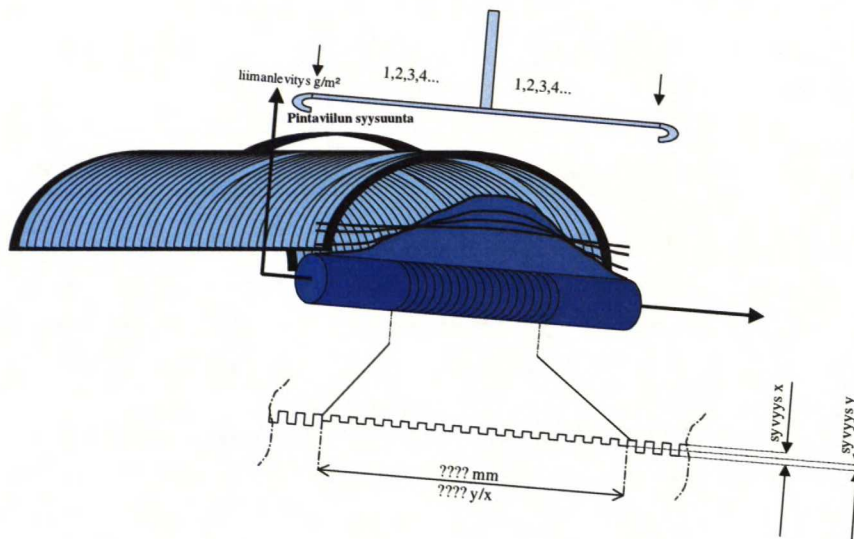
<sup>194</sup> Koponen, Simo 2000

Levyn paksuussuunnassa ajatellen liimanlevitys ei kuitenkaan ole vakio. 4-telalevittimellä levitysmäärä telan suunnassa vaeltaa riippuen siitä miten liima pumpataan doktor- ja levitystelan väliin sekä latomisnopeudesta, liiman lämpötilasta, kuiva-aineesta ja viskositeetista.

Liimanlevityksen epätasaisuus vaikuttaa myös keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuteen ja tämä edelleen näyttäisi vaikuttavan kieroutumiseen. Levyjen tiheyden kasvaessa kasvaa myös keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus, joten osaltaan keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuden kasvun myötä lisääntyvä kierous voi johtua tiheyden kasvusta.

### Jyväskylän tehtaan koetela

Liimanlevityksen epätasapaino aiheuttaa pintaviilun syysuuntaisen sylinteripinnan muodostumisen. Tämä aiheuttaa käyryysongelman, joka vaikeuttaa levyjen ongelmattonta käsittelyä jo tehtaan omassa prosessissa. Hiomakoneella muotovääritystä aiheuttaa yläpinnan läpihioutumista keskeltä levyä. Leveänauhahiomakoneen tallat eivät enää pysty suoristamaan levyä.<sup>195</sup>



Kuva 178 Jyväskylän tehtaiden koetelan periaate.<sup>196</sup>

Kuvassa 178 on esitetty Jyväskylän tehtaalla 5 ply (9 mm) parkettivanerien käyrystymisongelmaan kehitetty ratkaisu. Liima syötetään doktor- ja levitystelan väliin molemmiin puolin yhtäaikaan. Levitystelan uritusta on keskeltä kevennetty, jotta saataisiin aikaan tasaisempi liimanlevitys.

<sup>195</sup> Pasanen, Ilpo

<sup>196</sup> Pasanen, Ilpo



Kasper Sokka

Taulukossa 19 on esitetty Jyväskylässä normaalilla telan urituksella varustetulla ladonta-asemalla ja kevennetyllä telan urituksella varustetulla ladonta-asemalla ladottujen levyjen kosteuksien vertailu. Kosteudet on mitattu puristuksen jälkeen keskeltä levyn pitkiä sivuja ja keskeltä levyä. Keskimmäisen kosteuspalan ja reunojen kosteusero on keskimäärin alle puolet normaalitelaan verrattuna käytettäessä koetelaa.

Taulukko 19 Normaalilla telan urituksella varustetulla ladonta-asemalla ja kevennetyllä telan urituksella varustetulla ladonta-asemalla ladottujen levyjen kosteuksien vertailu.<sup>197</sup>

	1.7.-6.7.2000, SW Jkl	levyn kosteus			
		vasen	keski	oikea	keski-reunat erotus
normaali uritus ladonta-asema 3	tuote				
	6.5x1600x3150 ko BB/WG	6.2%	9.1%	6.7%	2.7%
	9x1600x3150 ko BB/WG	7.4%	9.3%	7.8%	1.7%
	18x1600x2800 ko WGE	5.1%	8.0%	5.2%	2.9%
	6.5x1600x3150 ko BB/WG	6.8%	9.1%	6.7%	2.4%
	9x1600x3150 ko BB/WG	8.1%	9.1%	6.7%	1.7%
	keskiarvo	6.72%	8.92%	6.62%	2.25%
	keski-reuna erotus	2.20%		2.30%	
keskeltä kevennetty uritus ladonta-asema 4	tuote				
	7.9x1600x2000 ko BB/WG	7.8%	8.6%	7.8%	0.8%
	5.6x2600x1600 ko WG	8.7%	9.2%	8.5%	0.6%
	5.6x2600x1600 ko WG	5.2%	6.0%	5.1%	0.9%
	7.9x1600x3150 ko BB/WG	6.9%	7.8%	7.0%	0.8%
	6.3x1600x3150 ko BB/WG	7.4%	9.8%	7.3%	2.5%
	keskiarvo	7.20%	8.28%	7.14%	1.11%
	keski-reuna erotus	1.08%		1.14%	

### 6.3. VANERIN RAKENNE, OMINAISUUDET JA VIILUJEN VINOSYISYYS

#### Viilujen vinosyisyyden vaikutus muotovääristymiin

Viilujen vinosyisyydellä yhdessä kosteuden muutosten kanssa on 'Vanerin käyristyminen –projekti' loppuraportin perusteella suurin vaikutus vanerin kieroutumiseen. Kotimaisen ja venäläisen koivuraaka-aineen vinosyisyyden välillä ei tämän tutkimuksen koetulosten perusteella ole tilastollisesti merkittäviä eroja.

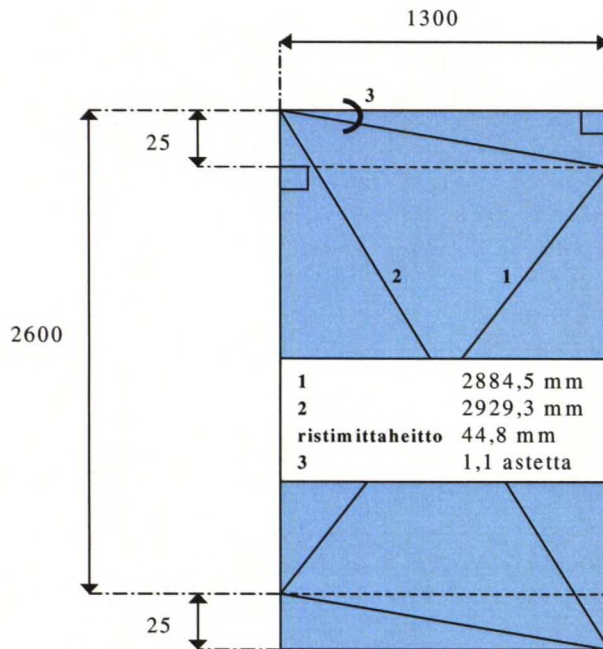
Teoreettisesti tarkasteltuna keskimmainen viilu ei laminaattirakenteessa vaikuta kierouteen lainkaan. Suurin vaikutus on pintojen vinosyisyydellä. 9-ply rakenteessa kaikkien viilujen vinosyisyyden oikaisu vähentää laskennallisesti kieroutumisen noin kolmasosaan.

Sorvaus-kuivaus-lajittelu/leikkaus-pinkkaus –linjojen yhteyteen voisi ajatella asennettavan mittalaitteen vinosyisyydelle. Tällöin suorasyiset pinnat lajitellaan erilleen. Tämä vaatii on-line mittarin kehittämisen/etsimisen. On-line mittaukseen sopivan työkalun kehittäminen onkin jo meneillään. Mittarin vinosyisyyden mittatulokseen on yhdistettävä myös arkin mittatiedot. Mm. arkkien ristimitahteitot aiheuttavat muuten täysin suorasyiseen arkkiin ladonnassa teoreettisesti yli 1 asteen vinosyisyyden riippuen tietenkin arkin mitoista ja

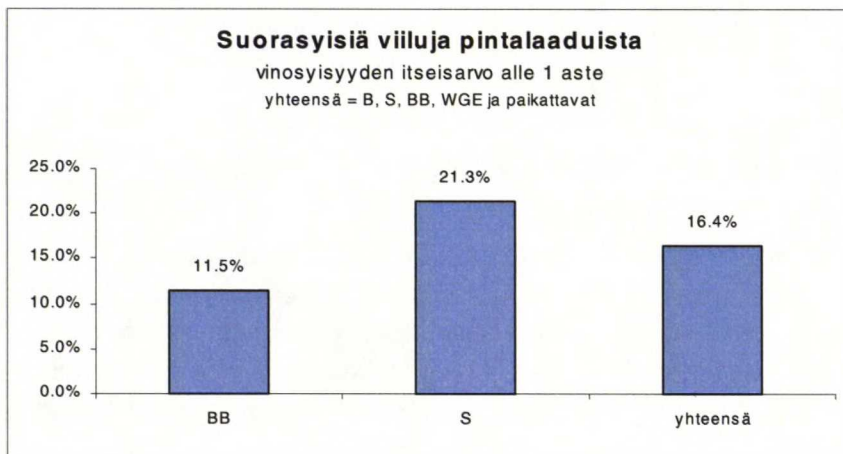
<sup>197</sup> Pasanen, Ilpo

Kasper Sokka

ristimittaheiton suuruudesta. Laatujärjestelmän mukaan alle 50 mm:n ristimittaheittot ovat hyväksyttäviä ja viilujen reunoissa sallitaan maksimissaan  $\pm 25$  mm:n mittavirhe. Kuvan 179 esimerkki on laskettu 50"x100" viilulle, jonka mittaheittot ovat vielä laatujärjestelmän toleranssien sisällä.



Kuva 179 Ristimittaheiton ladonnassa teoreettisesti aiheuttama vinosyisyys täysin suorasyiseen viiluarkkiin.



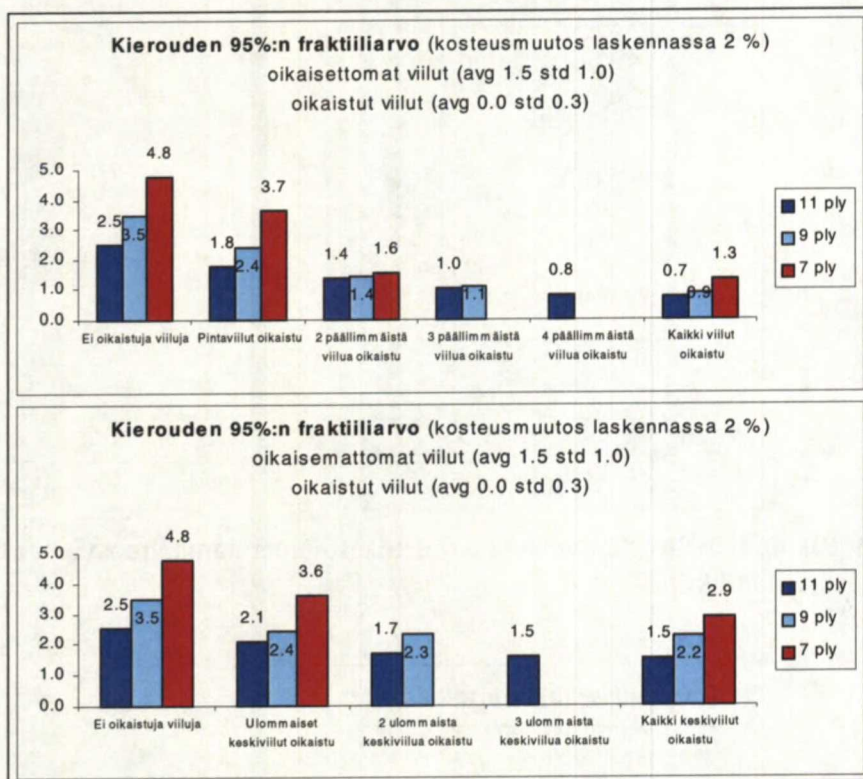
Kuva 180 Suorasyisen (vinosyisyyden itseisarvo 1 aste tai alle sen) pintaviilun prosentuaalinen osuus laaduilla S ja BB sekä kaikilla pintaviilulaaduilla yhteensä.

Pintaviilun saanto on koivulla noin neljännes koko viilumäärästä. Suorasyisiä (alle  $\pm 1$  aste) viilujen kokonaismäärästä on noin 20-25 %. Maksimissaankin suorasyisen pinnan saanto on siis noin 6 % kokonaisviilumäärästä (kuva 180).



Kasper Sokka

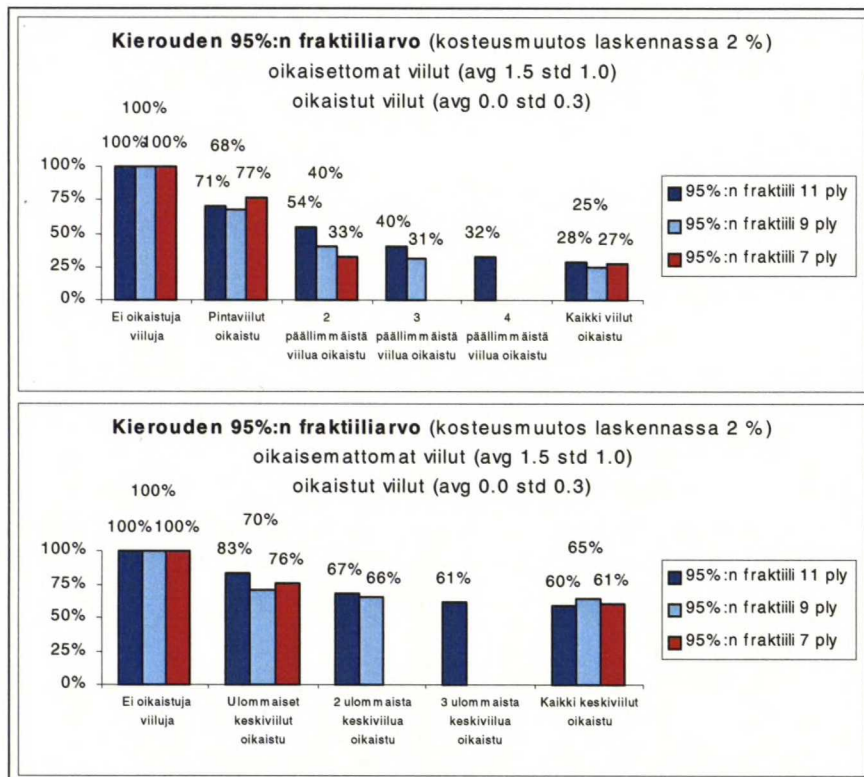
Kuvissa 181 ja 182 on käytetty 'Vanerin käyristyminen' –projektissa kehitettyä simulointimallia, jolla on laskettu vinosyisyydeltään oikaistujen viilujen vaikutusta kierouden 95 %:n fraktiiliarvoon. Kuvissa on ensin esitetty viilukerrostojen oikaistun vaikutuksen kierouteen, kun oikaistaan myös pintaviilut. Alempana pintaviiluja ei ole oikaistu lainkaan. Käytetty kosteusmuutos laskennassa oli 2 prosenttiyksikköä. Oikaisemattomien viilujen vinosyisyyden keskiarvona on käytetty 1,5 astetta ja hajontana 1,0 astetta. Oikaistujen viilujen keskiarvona on käytetty 0,0 astetta ja jäännöshajontana 0,3 astetta.



Kuva 181 Oikaistujen viilukerrostojen määrän vaikutus kierouteen.<sup>198</sup>

Kuvassa 181 on esitetty oikaistujen viilukerrostojen määrän vaikutus kierouteen 7, 9 ja 11 ply levyissä. Kuvassa 182 on esitetty sama prosentuaalisesti. Pelkkien pintaviilujen vinosyisyyden oikaisu vähentää kieroutumista jo kolmanneksella. Pienimmillään kaikki viilukerrokset oikaistuna kierous pienenee vajaaseen kolmannekseen. Jos kaikki sisäviilut oikaistaan, mutta pintaviiluja ei, pienenee kierous noin 40 prosenttiyksikköä.

<sup>198</sup> Huovinen Anu



Kuva 182 Oikaistujen viilukerrostojen määrän vaikutus kierouteen (prosentuaalinen).<sup>199</sup>

Yksi muuttuja tämän tutkimuksen ensimmäisessä tehdaskokeessa oli RAKENNE. Tällä tarkoitettiin muuttujan alatasolla ollessa ehjiä kuivia keskimmäisiä ja liimaviiluja ja muuttujan ylätasolla maksimissaan 30-35 cm:n jontista saumattuja keskimmäisiä viiluja. Kokeessa saumatuista viiluista ladotut levyt kieroutuivat vähemmän. Levyt, joiden sisäviiluja ei tehty jonteista saumaamalla olivat puristuksen jälkeen 25 % ja viikon varastoinnin jälkeen 39 % kierompia.

#### Levyjen tiheyden, keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuden ja taivutuskipinmoduulin vaikutus muotoväärityksiin

Toisessa tehdaskokeessa tarkasteltiin myös miten levyjen tiheys, keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus ja kimmomoduuli vaikuttivat käyritykseen ja kieroutumiseen.

Levyjen tiheyden keskiarvo oli suurin puristuksen jälkeen heti pinnoitetussa koeparissa. Kierous korreloi varastointijaksojen jälkeen tiheyden kanssa. Tiheyden kasvaessa myös levyjen kierous kasvoi.

Kierous korreloi varastointijaksojen jälkeen keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuden kanssa. Lujuuden kasvaessa myös levyjen kierous kasvoi.

<sup>199</sup> Huovinen Anu



Kasper Sokka

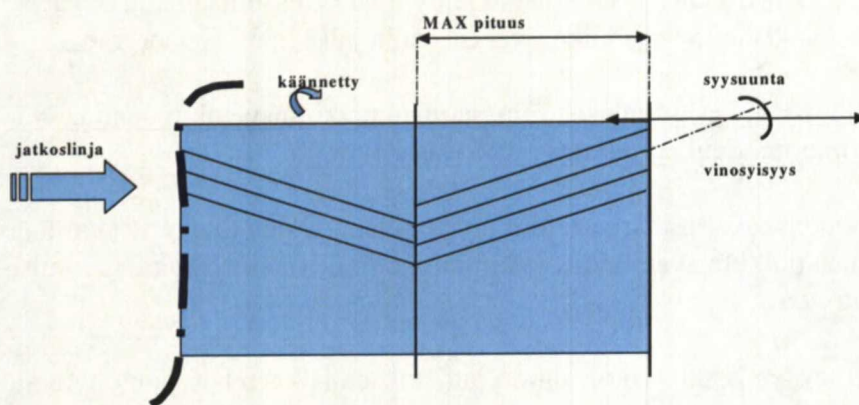
Edelleen liimanlevitys korreloi liimasauman lujuuden kanssa. Liimanlevitysmäärän kasvaessa liimasauman poikittaisvetolujuus kasvoi. Liimanlevityksen hajonnan kasvaessa poikittaisvetolujuuden hajonta kasvoi.

Kierous korreloi varastointijaksojen jälkeen pintaviilun syysuuntaisen taivutuskimmomoduulin kanssa. Kimmomoduulin kasvaessa myös levyjen kierous kasvoi. Kierous ei korreloinut pintaviilun syiden vastaisen taivutuskimmomoduulin kanssa, mutta ryhmittäisessä tarkastelussa kimmomoduulin kasvaessa myös levyjen kierous kasvoi.

Keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus korreloi levyjen tiheyden kanssa. Tiheyden kasvaessa poikittaisvetolujuus kasvoi. Pintaviilun syysuuntainen taivutuskimmomoduuli korreloi levyjen kosteuden ja tiheyden kanssa. Kosteuden kasvaessa kimmomoduuli pieneni ja tiheyden kasvaessa kimmomoduuli kasvoi. Levyn pintaviilun syiden vastainen taivutuskimmomoduuli korreloi kosteuden kanssa. Kosteuden kasvaessa kimmomoduuli pieneni.

#### Viilujen vinosyisyyden muuttaminen paikalliseksi

Ratkaisu voi löytyä kokein etsiä jonteille optimaalinen maksimileveys ja kääntää joka toinen jontti saumauksessa. Saman voisi tehdä jatkoslinjoilla. Näin levyn viilujen vinosyisyys muuttuisi tietyin välein, ollen siten paikallista. Paikallisen vinosyisyyden vaikutus levyjen kieroutumiseen täytyy kokein selvittää. Jonttien leveyden rajaaminen vaatii ohjelmistomuutoksen nykyisiin COMPOSER saumaajiin. Kääntö taas vaatii kääntölaitteen leikkauksen ja saumauksen väliin. Jos muotopysyvyys paranee yhtä paljon kääntäen jontikat kuin poistamalla vinosyisyys muilla keinoilla, voi asiakkaille ajatella myös luvattavan suoruustoleransseja.

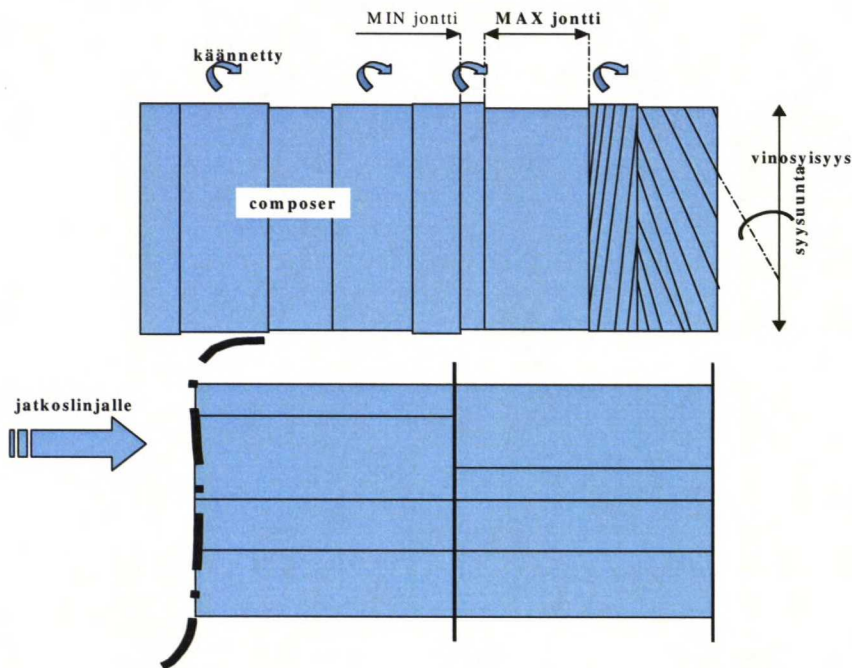


Kuva 183 Vinosyisyyden muuttaminen paikalliseksi rajoittamalla jontin maksimileveys ja kääntämällä joka toinen.

100":lla COMPOSERilla voi tietenkin valmistaa tietyille levymitoille vastaavalla tavalla liimaviiluja. Ajatusta voi viedä pidemmälle saumaamalla edelliseen tapaan käännetyin maksimileveydeltään rajatuin jontein kantikkaita arkkeja. Saumauksen

Kasper Sokka

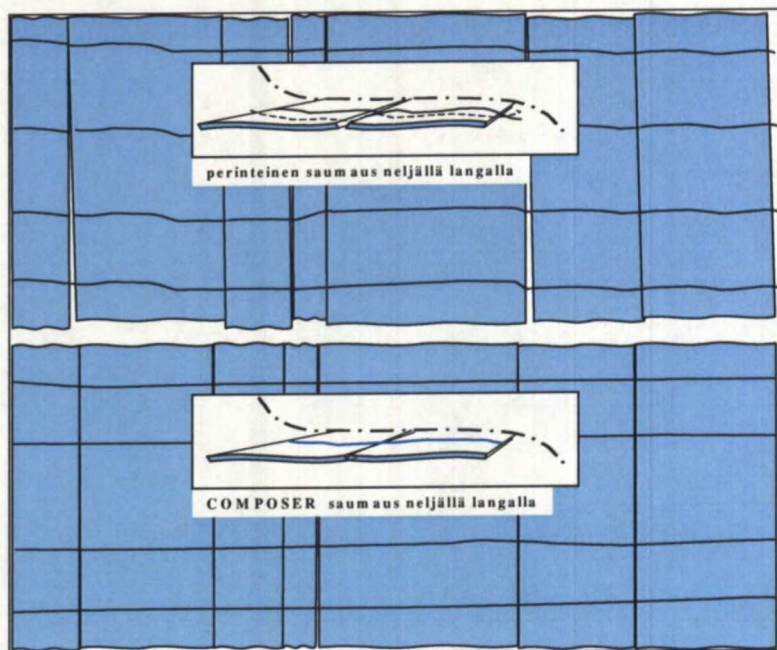
jälkeen arkit jatketaan liimaviiluiksi. Saumattujen kantikkaiden jatkamisesta on jo kokemusta.



Kuva 184 Vinosyisyyden muuttaminen paikalliseksi rajoittamalla jontin maksimileveys ja kääntämällä joka toinen.

COMPOSER saumauksella tuotetut viilut ovat perinteisillä lankasaumaajilla valmistettuihin viiluihin nähden toispuoleisia (kuva 185). Jos kaikki sisäviilut valmistetaan saumaamalla, tulee rakenteesta liimalankojen suhteen toispuoleinen. Vaikutuksen, mikäli se on merkittävä, voi poistaa sisäviilujen suhteen symmetrisellä ladonnalla. Näin koko rakenteesta tulisi itse asiassa symmetrinen, koska alapuolen pinta käännetään joka tapauksessa.

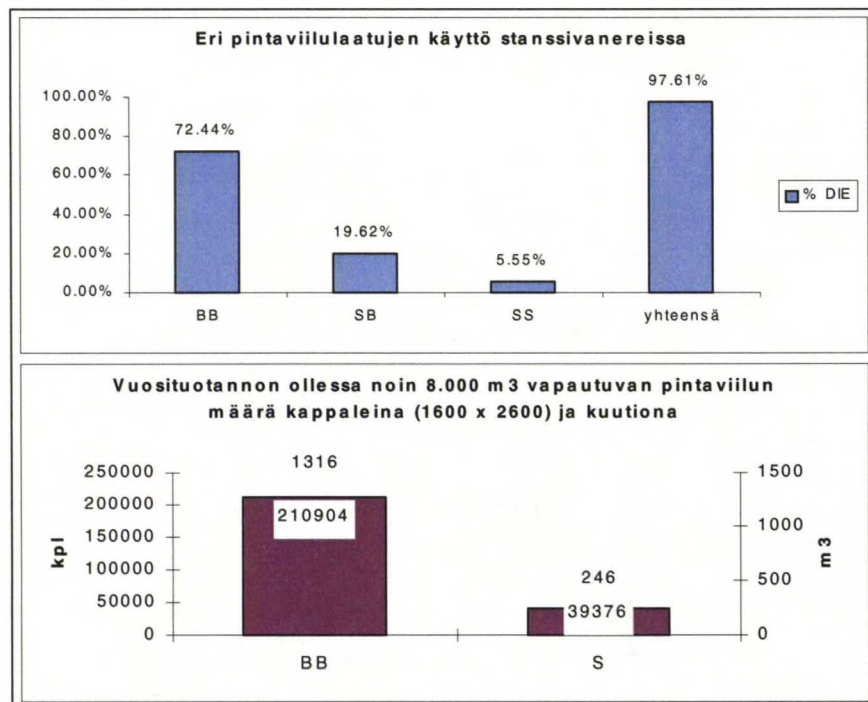




Kuva 185 Perinteisen lankasaumauksen ja COMPOSER saumauksen ero.

#### Muuhun käyttöön vapautuva pintaviilu

Jos pystytään osoittamaan, että rakenteen edellä esitetyllä tavalla rikkominen parantaa levyjen muotopysyvyyttä, seuraava ongelma on pintaviilujen vinosyisyys. Pyritäänkö pintalaaduista erottamaan suorasyiset viilut, vai ovatko suoruuksia vaativissa käyttökohteissa tärkeämpiä levyn ja viilujen tekniset ominaisuudet? Jos asiakkaat ovat valmiita hyväksymään jonteista saumatun pinnan, vapautuu parempia pintalaatuja huomattavasti muuhun käyttöön (kuva 186).



Kuva 186 Pintaviilulaatujen S ja BB käyttö stanssivanereissa ja vuosituotannon (8000 m<sup>3</sup>) laskettu käytetyn pintaviilun määrä kappaleina mitassa 1600 x 2600 ja kuutioina.

Optimitilanteessa kannattaisi siis jontit ottaa entistäkin tarkemmin talteen, mukaanlukien 100":n sorvit. Pinnan saanto on 1,5 mm:n koivuviilulla noin 26 % koko viilumäärästä. Karkeasti arvioiden viilumaton alusta noin 2,5 m sisältää noin puolet käyttökelpoista pintaa jontteina. Tällä hetkellä alku menee pääosin laatuluokkaan leikattava ja saumauksen kautta kuivakeskimmäislaatuun (kuva 187). Pienin talteenotettava pintaviiluarkki on tällä hetkellä Joensuun tehtaalla 1300 x 1300 mm.



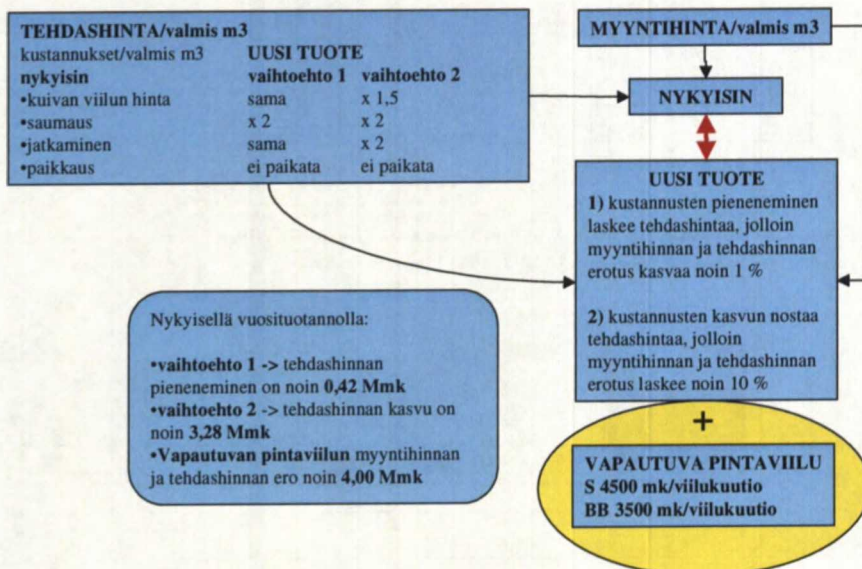
Kuva 187 Pienin talteenotettava pintaviiluarkki ja pinnansaannon laskennallinen lisäys otettaessa alkumaton sisältämä pintalaatu jontteina talteen.

Vuonna 2000 kaikkien kolmen verkkokuivaajan mattojen keskipituus Joensuun tehtaalla oli 15,5 m ja mattoja kuivattiin kaiken kaikkiaan 2.251.590 kappaletta. Pöllejä sorvattiin 1.662.226 kappaletta. Tuotannosta noin kolmannes oli päämitassa 50". Kun tästä lasketaan jontteina mahdollisesti saatavan pinnan osuus maton alusta, saadaan puolet 2,5 metristä kerrottuna pöllien lukumäärällä. Jos saumaushukaksi oletetaan noin kolmannes, on saanto silti noin 3100 m<sup>3</sup>/vuodessa.



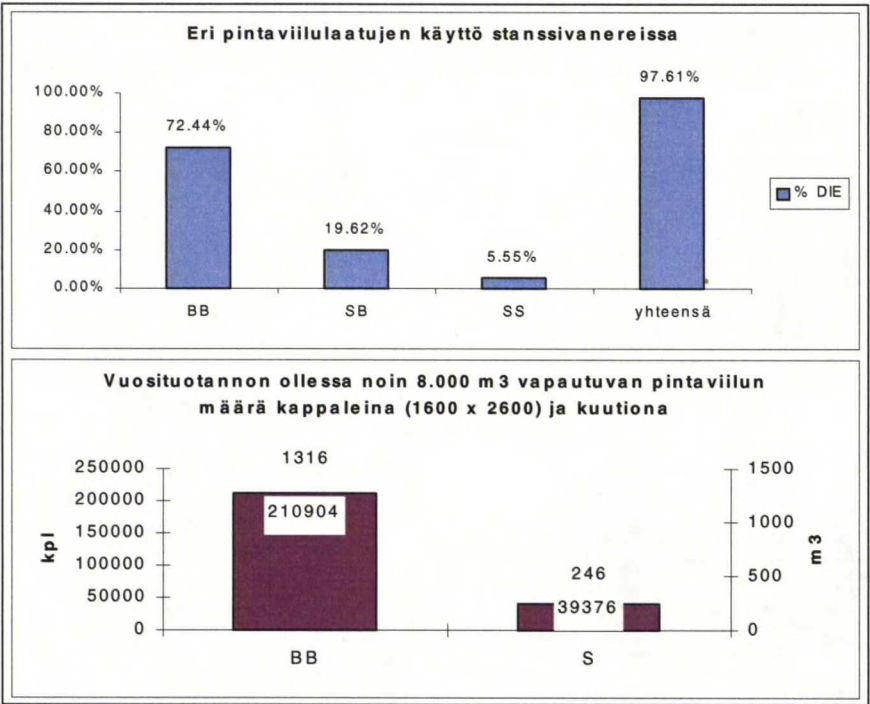
Kasper Sokka

Yhteensä pinnansaannoksi muodostuisi silloin noin 30 %. Pinnansaanto 26 % mahdollistaa laskennallisesti 10,9 mm keskipaksuuden. Pinnansaanto 30 % mahdollistaisi vastaavasti keskipaksuuden 9,5 mm.



Kuva 188 Uuden rikotulla rakenteella valmistetun tuotteen vertailu nykytilaan.

Kuvan 188 tehdashintana ja sen eri kustannuserinä on käytetty ureaformaldehydiliimatun 15 mm:n paksun ja 1500 x 2500 mittaisen levyn standardikustannuslaskenta ohjelman antamia arvoja. Ajatuksena oli laskea kaksi eri vaihtoehtoa siitä miten levyn koko rakenteen rikkominen vaikuttaa myyntihinnan ja tehdashinnan väliseen eroon. Vuosituotantona laskuissa käytettiin 8000 m<sup>3</sup>:ä. Vaihtoehdossa 1 saumauskustannukset tuplattiin ja paikkauskustannukset asetettiin nollassi. Vaihtoehdossa 2 myös jatkamiskustannukset tuplattiin ja raaka-ainekustannukset otettiin mukaan puolitoistakertaisina. Raaka-aineen hinnan muutoksella arvioitiin levyn valmistuksen tuotannossa aiheuttamia ongelmia. Muuhun käyttöön vapautuva pintaviilumäärä laskettiin edelleen vuosituotannon 8000 m<sup>3</sup>:ä mukaan. Pintaviilun laskennallisena arvona käytettiin laadulle S 4500 mk ja laadulle BB 3500 mk kuutiometri. Kuvassa 189 on esitetty laskuissa käytettyjen kustannuserien muutoksen vaikutus tehdashintaan ja kahden eri lasketun kustannusvaihtoehdon ja vapautuvan pintaviilun tuottojen vertailu. Kuvassa on vertailtu vaihtoehtojen tehdashinnan ja myyntihinnan erotusta. Nollatasona on käytetty nykyistä tilannetta. Vapautuvan viilun arvo on laskettu samoin (arvioidun) myyntihinnan ja tehdashinnan erotuksena.



Kuva 186 Pintaviilulaatujen S ja BB käyttö stanssivanereissa ja vuosituotannon (8000 m<sup>3</sup>) laskettu käytetyn pintaviilun määrä kappaleina mitassa 1600 x 2600 ja kuutioina.

Optimitilanteessa kannattaisi siis jontit ottaa entistäkin tarkemmin talteen, mukaanlukien 100”:n sorvit. Pinnan saanto on 1,5 mm:n koivuviilulla noin 26 % koko viilumäärästä. Karkeasti arvioiden viilumaton alusta noin 2,5 m sisältää noin puolet käyttökelpoista pintaa jontteina. Tällä hetkellä alku menee pääosin laatuluokkaan leikattava ja saumauksen kautta kuivakeskimmäislaatuun (kuva 187). Pienin talteenotettava pintaviiluarkki on tällä hetkellä Joensuun tehtaalla 1300 x 1300 mm.



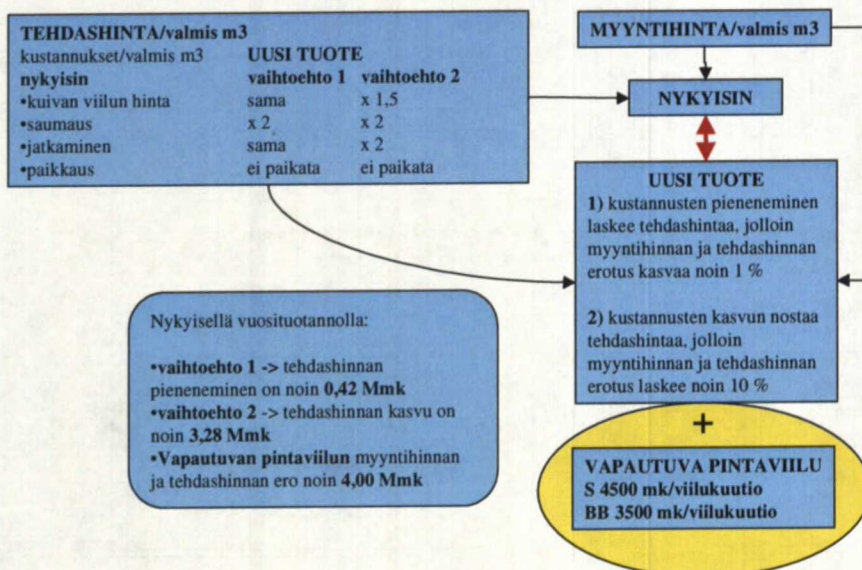
Kuva 187 Pienin talteenotettava pintaviiluarkki ja pinnansaannon laskennallinen lisäys otettaessa alkumaton sisältämä pintalaatu jontteina talteen.

Vuonna 2000 kaikkien kolmen verkkokuivaajan mattojen keskipituus Joensuun tehtaalla oli 15,5 m ja mattoja kuivattiin kaiken kaikkiaan 2.251.590 kappaletta. Pöllejä sorvattiin 1.662.226 kappaletta. Tuotannosta noin kolmannes oli päämitassa 50”. Kun tästä lasketaan jontteina mahdollisesti saatavan pinnan osuus maton alusta, saadaan puolet 2,5 metristä kerrottuna pöllien lukumäärällä. Jos saumaushukaksi oletetaan noin kolmannes, on saanto silti noin 3100 m<sup>3</sup>/vuodessa.



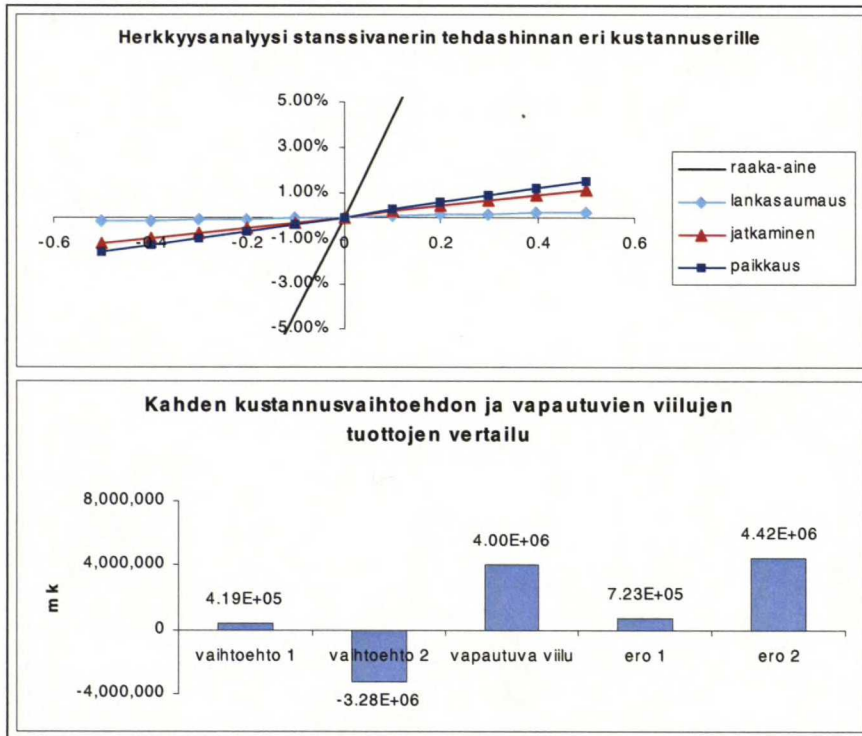
Kasper Sokka

Yhteensä pinnansaannoksi muodostuisi silloin noin 30 %. Pinnansaanto 26 % mahdollistaa laskennallisesti 10,9 mm keskipaksuuden. Pinnansaanto 30 % mahdollistaisi vastaavasti keskipaksuuden 9,5 mm.



Kuva 188 Uuden rikotulla rakenteella valmistetun tuotteen vertailu nykytilaan.

Kuvan 188 tehdashintana ja sen eri kustannuserinä on käytetty ureaformaldehydiliimatun 15 mm:n paksun ja 1500 x 2500 mittaisen levyn standardikustannuslaskenta ohjelman antamia arvoja. Ajatuksena oli laskea kaksi eri vaihtoehtoa siitä miten levyn koko rakenteen rikkominen vaikuttaa myyntihinnan ja tehdashinnan väliseen eroon. Vuosituotantona laskuissa käytettiin 8000 m<sup>3</sup>:ä. Vaihtoehdossa 1 saumauskustannukset tuplattiin ja paikkauskustannukset asetettiin nollassi. Vaihtoehdossa 2 myös jatkamiskustannukset tuplattiin ja raaka-ainekustannukset otettiin mukaan puolitoistakertaisina. Raaka-aineen hinnan muutoksella arvioitiin levyn valmistuksen tuotannossa aiheuttamia ongelmia. Muuhun käyttöön vapautuva pintaviilumäärä laskettiin edelleen vuosituotannon 8000 m<sup>3</sup>:ä mukaan. Pintaviilun laskennallisena arvona käytettiin laadulle S 4500 mk ja laadulle BB 3500 mk kuutiometri. Kuvassa 189 on esitetty laskuissa käytettyjen kustannuserien muutoksen vaikutus tehdashintaan ja kahden eri lasketun kustannusvaihtoehdon ja vapautuvan pintaviilun tuottojen vertailu. Kuvassa on vertailtu vaihtoehtojen tehdashinnan ja myyntihinnan erotusta. Nollatasona on käytetty nykyistä tilannetta. Vapautuvan viilun arvo on laskettu samoin (arvioidun) myyntihinnan ja tehdashinnan erotuksena.



Kuva 189 Herkkyysanalyysi stanssivanerin kustannuseristä ja kaksi laskennallista vaihtoehtoa kustannusrakenteen muutoksen vaikutuksista.

#### 6.4. VARASTOINTI JA KULJETUS

Viilujen varastointiajat ovat hyvinkin vaihtelevia. Viiluvastojen olosuhteet vaihtelevat suuresti pääosin seuraten ulkoilman olosuhteita. Varastoinnista johtuvat kosteuserot ovat tehtaan normaalikäynnissä huomattavia. Erityisen selkeästi viilun kosteudesta aiheutuvat ongelmat käyvät yleensä ilmi kesälomaseisokin jälkeen.

Valmiin vanerin varastot ovat yleensä lämmittämättömiä teollisuushalleja, joten vanerin kosteus vaihtelee selvästi ulkoisten olosuhteiden mukaan. Kuljetustavasta, myyntikanavasta ja tehtaan tuotantotilanteesta johtuen välivarastointeja voi toimitusketjussa olla hyvinkin monta. Varastointiajat ja olosuhteet ovat myös vaihtelevia.

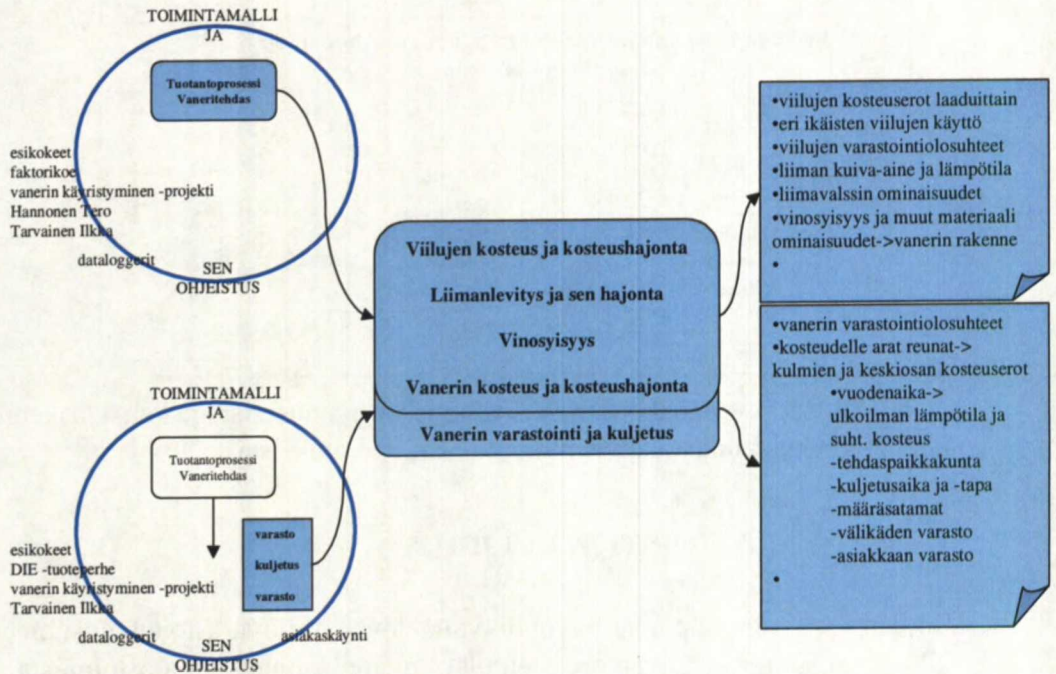
Ongelmareittien ja -varastojen kartoittaminen antaa mahdollisuuden kouluttaa koko toimitusketjua toimimaan oikein eri tilanteissa. Kuljetustavan muutos (esimerkiksi laiva vs. auto) voi jo tietyillä reiteillä auttaa huomattavasti. Kartoituksen on suoritettava yhteistyössä eri sidosryhmien kanssa asiakaskäynnin ja mahdollisesti käyttäen hyväksi tässä työssä käytettyjä dataloggereita.

Dataloggerin liittäminen asiakaskoekuormaan ensimmäisessä tehdaskokeessa onnistui hyvin. Levyjen kulmat kostuivat lakkauksen jälkeen Lahden tehtaalta asiakkaalle Manchesteriin kuljetettaessa noin yhden prosenttiyksikön.



## 6.5. VANERITUOTTEIDEN MUOTOPYSYVYYTEEN VAIKUTTAVAVIEN TEKIJÖIDEN HALLINTA

Johdannossa esitettiin kuvassa 1 työn tavoite, eli toimintamallin luominen levyjen muotopysyvyyden parantamiseksi. Kuvassa 190 on sen perusteella esitetty tärkeimmät löydetty vaikutukset. Vaikutuksia on edelleen hajotettu osiin ja tarkennettu.



Kuva 190 Vanerituotteiden muotopysyvyyteen vaikuttavat tekijät.

Tehtaalla parannuksia on mahdollista saada aikaan viilujen kosteushajontaa pienentämällä. Tuotteisiin, joissa muotopysyvyys on erityisen tärkeää, tulee käyttää samanikäisiä viiluja. Varastointiolosuhteet jo eri kohdissa tehdasta voivat vaihdella, joten tämä vaatii näihin tuotteisiin käytettävien viilujen varastointia samoissa olosuhteissa, eli jotakuinkin samassa paikassa. Ideaaliratkaisu olisi viiluvastohalli, jossa ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila pysyisivät vakiona säädetyssä arvossa.

Liimanlevityksen tasaisuutta on mahdollisuus parantaa varmistamalla ensin liiman lämpötilan ja kuiva-aineen tasaisuus. Tämän jälkeen valitaan valssiyksikölle sopiva uratiheys ja -syvyys, kumin kovuus ja liiman syöttötapa pääasiassa ladottavan tuotteen mukaan.

Kuten viilun välivarastoinnissa myös vanerin varastoinnissa hallin olosuhteet seuraavat ulkoilmassa tapahtuvia muutoksia. Ainakin osa tuotteista tulee varastoida tasaisemmissa olosuhteissa. DIE tuoteryhmän kokeissa kaksi viikkoa tasaisissa olosuhteissa ennen pinnoittamista varastoidut (lämmin tila noin 20 °C ja

Kasper Sokka

RH% 30-50) melamiinipinnoitetut levyt kieroutuivat vähemmän kuin heti pinnoitetut.

#### Toimitusketjun ja asiakkaiden opastaminen ja asiakaskohtainen laadunvarmistus

Asiakkaita on opastettava varastoimaan levyt oikein. Jo yksinään tällä toimenpiteellä voidaan vähentää turhien ongelmatilanteiden aiheuttamia reklamaatioita. Liitteessä 4 on esitetty asiakkaiden opastuksessa käytössä oleva DO's and DONT'S lista.

Reklamaatioiden analysoinnilla segmenteittäin ja tuoteryhmittäin voidaan etsiä asiakkaita, joilla käyristymiseen ja kieroutumiseen liittyviä ongelmia esiintyy erityisen paljon. Tuote-eristä on silloin selvitettävä ainakin tuotanto-, pakkaus- ja lähetyspäivät tehtaalta. Edelleen on selvitettävä lähtö- ja saapumispäivät kuljetuksista ja varastointiajat ja -paikat mahdolliselta välikädeltä ja asiakkaalta. Pitkät kuljetus- ja varastoajat vaihtelevissa olosuhteissa voivat aiheuttaa suuriakin muodonmuutoksia levyissä. Kun ongelmareittejä ja -varastoja näin löytyy on yksi mahdollisuus testata miten suuria muutoksia olosuhteissa todellisuudessa kuljetuksen ja varastoinnin aikana tapahtuu lähettämällä kuorman mukana dataloggeri, mikäli asiakkaat tähän suostuvat.

Yhteistyössä asiakkaiden kanssa voi myös kehittää vastaavanlaista menetelmää kuin jo on käytössä parkettivaneriasiakkaille. Kuvassa 191 on esitetty parkettivanerien laadunvarmistuksen seurantakohteiden ohje. Seurantakohteista tehdään raportti, joka on asiakaskohtaisesti määritelty ja lähetetään joka erän mukana asiakkaalle. Näin asiakas voi olla varma, ettei ongelma ole lähtöisin tuotannossa tapahtuneista valmistusvirheistä.



Isoille asiakkaille vastaavanlainen järjestelmä kuin parkettivanerin laadunvarmistuksessa

#### Parkettivanerien laadunvarmistuksen seurantakohteet

- viilun paksuus\*
- viilun kosteus kuivauksen jälkeen ja liimauksen aikana\*
- liiman viskositeetti\*
- liimanlevitys\*
- avoin aika esi- ja kuumapuristuksen välissä\*
- puristusolosuhteet\*:
  - aika
  - lämpö
  - paine

**\*VAIKUTTAA  
MUOTOVÄÄRISTYMIIN**

- vanerin kosteus\*
- liimavikaisuus (ontot)\*
- vanerin paksuus
- pintalaatu

PARKETTIVANERI TEHDÄÄN "RÄÄTÄLIN TYÖNÄ"  
TIIVIISSÄ YHTEISTYÖSSÄ ASIAKKAAN KANSSA JA  
SEURAAVISTA ERIKOISVAATIMUKSISTA SOVITAAN  
AINA

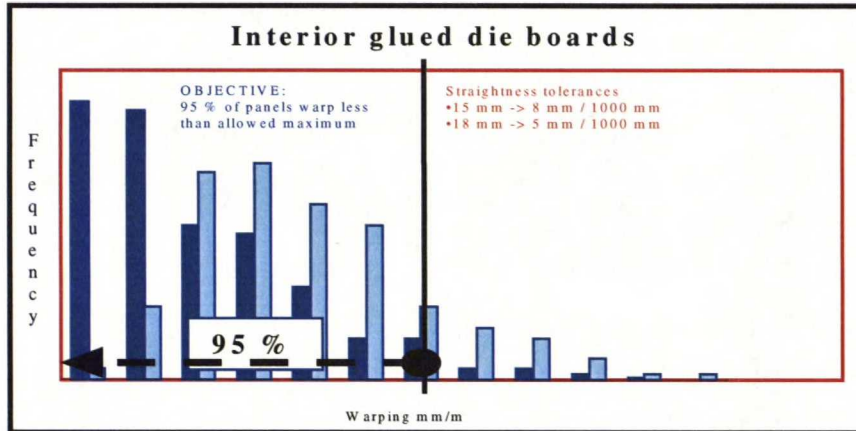
- asiakaskohtainen vanerin rakenne (jos tarve)
- asiakaskohtainen vanerin kosteus/toleranssit ja mittaus/raportointitapa
- asiakkaan tarpeiden mukainen vanerin paksuus/toleranssit laser mitattuna ja raportointitapa
- asiakaskohtaisesti sovitettu pakkaus

Kuva 191 Parkettivanerien laadunvarmistuksen seurantakohteet.

Ensiarvoisen tärkeää on siis:

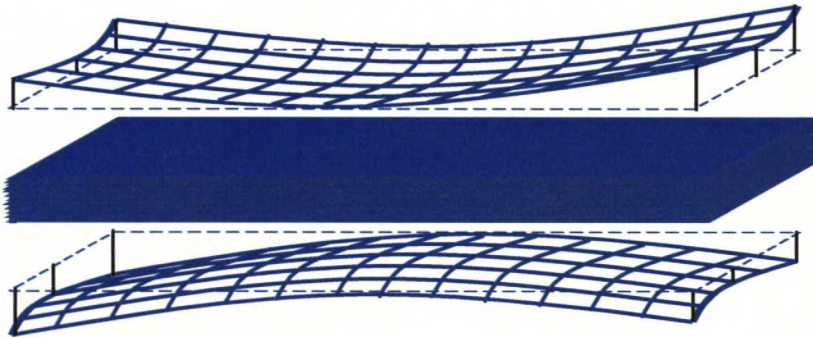
- Viilujen kosteuserojen minimointi ladonnassa.
- Vanerin kosteuselämisen aiheuttamien muodonmuutosten minimointi logistiikkaketjussa.

On tärkeää muistaa, että puu raaka-aineena on erittäin heterogeenistä ja käyristymiseen ja kieroutumisen vaikuttavat yleensä useat eri tekijät yhdessä. Tehdasmittakaavassa aina täydellisen suorien levyjen valmistaminen on jotakuinkin mahdotonta. Tavoitteena tuleekin olla muotovääristymien jakauman hallinta (kuva 192). On määriteltävä sallittu muotovääristymien taso, joka on vielä hyväksyttävä myös aiheutuvien kustannusten osalta. Asiakastuotteiden valmistuksessa on siirryttävä täsmätuotekehitykseen ja tuotekohtaisiin toleransseihin puolivalmisteiden, ehkä jopa raaka-aineen osalta.



Kuva 192 Muotovääritysmien jakauma

Kuvassa 193 on esitetty vaneripalletti kuljetuksen ja varastoinnin jälkeen avattuna. Kuva esittää normaalitilannetta.



Kuva 193 Palletin ylimmät ja alimmat levyt ovat yleensä arimpia ulkoisten olosuhteiden muutoksille.

Koko toimitusketjun mukaanlukien loppukäyttäjäsiaakkaat tulisi ymmärtää raaka-aineen ominaisuuksista johtuvien vanerien ominaisuuksien vaikutus muotovääritysmiin. Yleisesti ottaen voi todeta, että vaneripalletin ylimmät ja alimmat levyt ovat herkimpiä ulkoisten olosuhteiden muutoksille. Jos taas koko palletti on vääntynyt jo ennen sen avaamista, on syytä epäillä huomattavia muutoksia ulkoisissa olosuhteissa kuljetuksen ja/tai varastoinnin aikana.

Kuvassa 194 on esitetty vaneripalletti kuljetuksen ja varastoinnin jälkeen. Kuva esittää ongelmatilannetta.





Kuva 194 Koko palletin muotovääristymä.

6.6. YHTEENVETO

Taulukossa 20 on esitetty tärkeimmät ja taulukossa 21 suositeltavat toimenpide-ehdotukset ja niiden vaatimat lisäselvitykset ja jatkotutkimukset.

Taulukko 20 Tärkeimmät toimenpide-ehdotukset ja niiden vaatimat lisäselvitykset ja jatkotutkimukset

Tärkeimmät toimenpiteet	Vaadittavat lisäselvitykset ja jatkotutkimukset
<p><b>1. VIILUVARASTO</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• koko</li><li>• varastointiaika</li></ul> <p>⇒ viilujen kosteusjakauman hallinta erillinen viiluvasto, jonka olosuhteet hallinnassa</p>	<p>Mitkä tuotteet vaativat tasaannutettujen viilujen käyttöä? (stanssivanerit, parkettivanerit...)</p> <p>Miten nopeasti viilut tasaantuvat pinkassa eri olosuhteissa? Yhden viikon varastointi muovissa vähensi kosteuden hajontaa jonkin verran.</p>
<p><b>2. RAKENNE</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• sisäviilut</li><li>• pintaviilut</li></ul>	<p>Levyt, joiden sisäviiluja ei tehty jonteista saumaamalla olivat ensimmäisessä tehdaskokeessa puristuksen jälkeen 25 % ja viikon varastoinnin jälkeen 39 % kierompia kuin rikutulla rakenteella valmistetut.</p>
<p><b>3. PINTAKÄSITTELY</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• lakkaus</li><li>• pinnoitus</li></ul> <p>⇒ levyjen kierousjakauman hallinta</p>	<p>Vähentääkö vinosyisyyden muuttaminen paikalliseksi joka toinen saumaus/jatkokappale kääntämällä edelleen kieroutumista?</p> <p>Jos pintaviilut päätetään tehdä jonteista saumaamalla, millä laitteistolla saadaan aikaan riittävän hyvälaatuinen puskusauma riittävän tehokkaasti.</p> <p>Riittääkö saumaamalla/jatkamalla jonteista valmistettu pintalaatu täyttämään asiakkaan vaatimukset, vai joudutaanko suorasyiset pinnat lajittelemaan eroon muista pintaviiluista? Miten ja millä laitteistolla mittaus tapahtuu?</p> <p>Jos pintaviilut saumaamalla jonteista saadaan aikaan riittävän hyvälaatuista, käyttötarkoitukseen soveltuvaa ja asiakkaan hyväksymää pintaviilua, kannattaako silloin ottaa parempi laatuinen viilu talteen entistä tarkemmin jonteina?</p> <p>Kosteuden tasaannuttaminen ennen pinnoitusta osoittautui oikeaksi toimenpiteeksi käristymisen vähentämiseksi melamiinipintaisten stanssilevyjen kohdalla. Lakatut levyt olivat kaikkein muotopysyvimpiä. Onko tasaannuttaminen ennen pintakäsittelyä suositeltava toimenpide kaikille pinnoitteille?</p>

Viilujen tasaannuttamisella pystytään vähentämään huomattavasti eri viilukerrostojen ja viilujen sisäisten kosteuserojen rakenteeseen aiheuttamien jännitysten vähenemisen kautta käyritystä. Rakenteen kautta voidaan taas pyrkiä parempaan muotopysyvyyteen varastoinnin ja kuljetusten aikana, eli vähentämään kosteuselämisestä aiheutuvia muodonmuutoksia.

Taulukossa 21 on esitetty eri vaihtoehtoja koko tuotantoprosessia ja logistiikkaketjua koskien levyjen muotopysyvyyden parantamiseksi. Osa ehdotuksista vaatii uudentyyppisten koneiden, raaka-aineiden ja puolivalmisteiden käyttöönottoa.

Taulukko 21 Suositeltavat toimenpide-ehdotukset ja niiden vaatimat lisäselvitykset ja jatkotutkimukset

Suosittelut toimenpiteet	Vaadittavat lisäselvitykset ja jatkotutkimukset
<p><b>VIILUJEN KOSTEUSTASO</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• viilujen keskikosteudeksi 5-6 % levyjen keskikosteus lähemmäksi käyttökosteutta</li></ul> <p>⇒ viilujen kosteusjakauman hallinta</p> <p>⇒</p> <p><b>UUDENTYYPPINEN KUIVAUSKONE</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• telakuivaaja?</li><li>• säätömahdollisuus lohkoittain</li></ul> <p>⇒</p> <p><b>LIIMANLEVITYS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• liiman syöttötapa</li><li>• levitystelan uraprofiili</li><li>• modifioitu hartsi</li><li>• vaahtoliimaus</li></ul> <p>⇒</p> <p><b>LEVYJEN VARASTOINTI JA KULJETUS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• levyjen keskikosteus nykyistä korkeammaksi</li><li>• tasaiset varastointiolosuhteet</li><li>• ongelmareittien, asiakkaiden ja varastojen identifioiminen opastus</li></ul>	<p>Jos viilujen keskikosteutta nostetaan miten kosteuden jakauma voidaan hallita? Mitä nykyisille kuivauskoneille voidaan tehdä?</p> <p>Jos käytössä on uudentyyppinen kuivauskone, miten hyvin viilujen kosteushajonta on käytännössä hallittavissa?</p> <p>Säilyykö edelleen tarve varastoida viilut nykyistä hallitummissa olosuhteissa?</p> <p>Miten muotovääristymiin voidaan vaikuttaa hartsin, liiman ja nykyisten liimavalssien muutoksilla?</p> <p>Minkäasteisia parannuksia saadaan aikaan nostamalla viilujen keskikosteutta ja modifioimalla hartsi?</p> <p>Kun liiman lämpötilan ja kuiva-aineen vaihtelut saadaan hallintaan, onko yhtäaikainen syöttö molemmilta reunoilta ja keskeltä kevennetty uritus riittävä parannus muotovääristymien hallintaan?</p> <p>Miten vaahtoliimaus muuttaa nykytilannetta?</p> <p>Miten levyjen tasaannutus vaikuttaa muotovääristymiin eri pinnoitteilla?</p> <p>Onko yhä useampien tuotteiden varastointi suoritettava jatkossa hallituissa olosuhteissa eli lämpimässä varastossa?</p>



## 7. YHTEENVETO

### 7.1. JOHDANTO

Työn tavoitteena oli löytää vastauksia UF -liimattujen stanssivaneriasiakkaiden ongelmiin, jotka koskivat levyjen käyristymistä ja kieroutumista ja etsiä vanerituotteiden muotopysyvyyteen vaikuttavat tekijät.

Työ suoritettiin kirjallisuuden ja aikaisempien tutkimusten tarkasteluna, sekä analysoimalla kohdotehtaan tuotantoprosessia, osaprosesseja ja koko toimitusketjua. Tämän perusteella etsittiin suoruuteen eniten vaikuttavia tekijöitä, jonka jälkeen ne koejärjestelyin pyrittiin todentamaan.

### 7.2. KIRJALLISUUSOSA

Kirjallisuusosassa käytiin läpi koivuraaka-aineen ominaisuuksia ja tuotantoprosessia aiheeseen liittyvin osin. Ensin käytiin läpi puun rakenneominaisuuksia. Tämän jälkeen käsiteltiin puuaineen kosteutta ja puun kuivumisen teoriaa. Viilun kuivausprosessin lämpötilan vaikutusta viilun ominaisuuksiin käsiteltiin myös lyhyesti. Kuivausprosessissa viilun kosteuden hallinnan yhteydessä esiteltiin uudentyyppisen viilunkuivaajan ajatus. Kuivausprosessin jälkeen käytiin läpi viilujen kosteuden muutoksia varastoinnissa, josta siirryttiin viilujen kosteuteen liimauksessa ja itse liimaustapahtumaan.

Puun solukkojen pääasiallinen suunta ei yleensä noudata rungon pituusakselin suuntaa, vaan solukot ovat järjestäytyneet spiraalin muotoon ytimen ympärille. Tarkasteltaessa puuta tyvestä latvaan päin erotetaan vasen- ja oikeakierteisyys spiraalin suunnan mukaan. Kierosyisyys on hyödyllistä puulle, jos vallitseva ulkoinen vääntömomentti ja vinosyisyys ovat samansuuntaisia. Tämä toteutuu alueilla, joilla tuulee pääosin samasta suunnasta ja puu on epäsymmetrinen tähän suuntaan nähden.

Puu on hygroskooppista eli se imee kosteutta ympäröivästä ilmasta sekä luovuttaa sitä ympäröivään ilmaan. Se kosteustila, johon puu pyrkii, riippuu ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta.

Klassisen teorian mukaan viilun lämpötila pysyy kuivausilman märkälämpötilan määräämässä arvossa, kunnes vapaa vesi on poistunut. Uusimman tiedon mukaan näin ei tapahdu, vaan viilun lämpötila kohoaa märkälämpötilaa korkeammaksi käytännöllisesti katsoen heti kuivauksen alettua.

Viilun hakeutuminen tasapainokosteuteen miltei absoluuttisen kuivasta on melko nopeaa. Tasapainokosteuden ollessa 5,5% yksittäisen viilun kosteus nousee 4 %:iin noin kolmessa tunnissa. Lähestyttäessä tasapainokosteutta kostuminen hidastuu. Tasapainotila saavutettiin tässä tapauksessa koivuviilulla noin 24 tunnissa ja havuviilulla noin 12 tunnissa.

Kasper Sokka

Koska viilu pinkataan kuivaajan jälkeen, on sen kostuminen huomattavasti hitaampaa. Riippuen viilukuorman tiiviyydestä koivuviilut saavuttavat tasapainokosteuden noin 4 kuukaudessa ja havuviilut noin 2 kuukaudessa.

10 g/m<sup>2</sup> muutos liiman levityksessä aiheuttaa noin 0,5 prosenttiyksikön muutoksen ladelman kosteudessa. Yhden prosenttiyksikön lisäys viilunkosteudessa lisää ladelman kosteutta vastaavasti noin 1 prosenttiyksiköllä. Samanpaksuisen ladelman kosteus oli aivan erilainen riippuen käytetystä viilulajista ja rakennevaihtoehdosta.

Optimiliimalla sopiva hartsin ja veden määrä kulkevat käsi kädessä levitysmäärän muuttuessa. Tällöin liimasaumaan tulee riittävästi vettä pienilläkin hartsin levitysmäärillä.

Suurimmat liiman viskositeettiin vaikuttavat tekijät ovat pesuveden laatu, hartsin lämpötila ja hartsin viskositeetti. Hartsin viskositeettiin liittyy läheisesti hartsin lämpötila. Suurin yksittäinen viskositeettiin vaikuttava tekijä on epätarkkuus liimareseptien välillä. Tämä johtuu pesuveden kuiva-ainepitoisuuden vaihtelusta. Hallinta voidaan suorittaa mittaamalla ja reseptiä säätämällä tai säätämällä pesuveden kuiva-ainepitoisuutta. Laimentamalla pesuvettä raakavedellä kuiva-aineen osuus voidaan jakaa hyvin pieneksi koko reseptin kuiva-ainepitoisuuteen nähden.

Tuoteominaisuuksien tulisi määrätä viilulta vaadittavat ominaisuudet ja kosteustason. Raaka-aineen, haudonnan, sorvauksen ja kuivauksen (myös välivarastoinnin) osalta nämä lopullisen tuotteen ominaisuudet vaativat eri olosuhteita, jos halutaan tuottaa lopputuotteille optimaalisesti sopivaa viilua.

Tämän jälkeen kirjallisuusosassa käsiteltiin käyristymiseen ja kieroutumiseen vaikuttavia tekijöitä.

Sorvaushalkeamat, korkeat lämpötilat viilun kuivauksessa, korkea lämpö ja paine kuumapuristuksessa, ristiinladonta, liimatyypit, liiman suhteellinen osuus rakenteesta ja mahdolliset pintakäsittelyt muuttavat vanereiden kosteuskäyttäytymistä verrattuna massiivipuuhun. Vanerin tasapainokosteus on selitettävissä sen osamateriaalien sorptiokäyttäytymisellä. Puun osalta nämä ovat selluloosa, hemiselluloosa, ligniini ja uuteaineet.

Ristiinladonta ei vaikuta puhtaasti radiaaliseen diffuusioon, mutta se on huomionarvoinen seikka tarkasteltaessa suojaamattomien reunojen kosteuskäyttäytymistä. Juuri suuret erot pitkittäisissä ja radiaalisissa diffuusiokertoimissa aiheuttavat nopean diffuusiovasteen vanereiden reunavyöhykkeellä noin 200 mm matkalla.

Kosteus ja sen vaihtelut vaikuttavat vanerin käyristymiseen ja kieroutumiseen ja nämä kosteusmuodonmuutokset alkavat jo ennen levyjen puristamista. Viilujen



Kasper Sokka

alkukosteuden ja liimasta imeytyneen veden vaikutus näkyy selvästi jo esipuristuksen jälkeen, ennen kuumapuristusta.

Vanerin kieroutumista aiheuttavista tekijöistä selvin vaikutus on viilujen vinosyisyydellä. Simulaatioiden mukaan levyt kieroutuvat sitä enemmän mitä suurempaa on viilumateriaalin vinosyisyyden hajonta. Kieroutuminen kasvaa myös levypaksuuden pienentyessä.

Oikaisemattomien tehdaslevyjen keskimääräinen kieroutuminen vastaa 3-5°:een vinosyisyyttä yhdessä pintaviilussa. Oikaisemalla viilujen vinosyisyys saadaan kierous pienemmään kolmasosaan.

### 7.3. KOKEELLINEN OSA

#### Esitutkimukset

Tutkimusta varten kerättiin pitkäaikaiskeskiarvoja tehdaspaikkakunnasta eli Joensuusta ja UF –liimattujen levyjen määräsatamista. Puun laskennallisessa tasapainokosteuksissa eri määräsatamien välillä on huomattavia eroja. Vuodenajasta riippuen erot ovat yli puolitoista prosenttiyksikköä. Edelleen levyjen kosteudet eroavat laskennallisesta tasapainokosteudesta vuodenajasta riippuen niin valmisvanerivarastossa Joensuussa kuin asiakkaiden varastoissa ympäri maailman huomattavasti.

Viilujen kosteus ladonnassa kuukausittain seuraa hyvin tarkasti ulkoilman olosuhteita. Erityisen ongelmalliseksi tilanne muodostuu kesälomaseisokin aikana, jolloin joidenkin viiluerien kosteus saattaa nousta jopa lähelle 10 prosenttia. Tuotannon jälleen käynnistyessä on ladonnassa yhtä aikaa hyvin eri kosteuksisia viiluja, koska osa viiluista tulee ladontaan jotakuinkin suoraan kuivauksesta.

Hartsin lämpötila seuraa ulkoilman lämpötilaa ja viskositeetti sekä liimanlevitys vaihtelevat lämpötilan mukana. Liimaseoksen lämpötilan hallinta on mahdollista toteuttaa esimerkiksi rakentamalla hartsisäiliön ympärille vesivaippa, jossa kiertää aina tasalämpöinen vesi. Pesuveden kuiva-ainepitoisuutta voidaan hallita ohjaamalla valsseilta tuleva pesuvesi välivarastoon, jossa sen kuiva-ainepitoisuus pidetään tasaisena raakavettä lisäämällä tai vähentämällä. Nämä toimenpiteet sinänsä eivät toki poista valsseista johtuvaa liimanlevityksen hajontaa.

Pidemmän aikavälin seuranta reklamaatioihin liittyen on vajavaista, jos sitä on ollenkaan. Tilastollista tarkastelua ajatellen ei tutkittavaa aineistoa kertynyt lähellekään riittävää määrää.

Kotimaisen ja venäläisen koivuraaka-aineen vinosyisyyksissä ei ollut tilastollisesti merkittäviä eroja. Sydäimestä kohti pintaa siirryttäessä viilujen vinosyisyyden trendi on kohti vasenkierteisyyttä.

Kasper Sokka

### Aikaisemmat tutkimukset

Hannosen diplomityön aineiston perusteella haudontalämmön nostaminen (70 °C) nostaa pölin lämpötilaa ja edelleen märän viilun poikittaisvetolujuutta. Tämä vaikuttaa vanerin lujuutta parantavasti, kuten myös parempi tukin laatu. Viilun kosteus korreloi positiivisesti vanerin kosteuden kanssa ja edelleen niin viilun kuin vanerin kosteus korreloivat tiheyden kanssa. Vanerin kosteus ja tiheys sekä seisotusaika korreloivat leikkauslujuuden kanssa. Käyryyteen ja kierouteen suoraan vaikuttavia tekijöitä ovat lujuudet ja tiheys. Suora korrelaatio löytyy myös viilun kosteudelle.

Tarvaisen diplomityön aineiston perusteella viilujen kosteushajonnalla on selvä yhteys muotovääristymiin. Kosteushajonnan kasvaessa käyristyminen ja kieroutuminen lisääntyvät selvästi. Kieroimpia koelevyistä olivat niin puristuksen kuin sääsyklityksenkin jälkeen ne, joiden rakenteessa oli tarkoituksellisesti käytetty kosteita pinta- tai liimaviiluja.

Vanerin käyristyminen –projektin aineiston perusteella kahden päällimmäisen viilun ollessa muuta rakennetta kosteampia levyt käyristyvät tasakosteuksisista viiluista ladottuja levyjä enemmän. Viilujen vinosyisyydellä on suurin vaikutus kierouteen.

Kun 9-ply rakenteen kaikki viilut oikaistaan, putoaa levyjen kierous simulaatioiden perusteella kolmannekseen normaalitilanteeseen verrattuna.

### Tehdaskokeet

Ensimmäisessä tehdaskokeessa tutkittiin kolmen eri muuttujan vaikutusta käyristymiseen kahdeksalla koeajolla. Kokeessa käytettiin 2<sup>3</sup> faktorikoematriisia. Muuttujia vaihdeltiin kahdella eri tasolla. Muuttujiksi valittiin levyn rakenne, viilujen kosteus(hajonta) ja liimaustapa. Levyn rakenne tarkoitti tässä tapauksessa levyn sisäviilujen rakennetta. Puolet levyistä ladottiin ehjillä sisäviiluilla ja toisessa puolessa levyistä sisäviilut oli saumattu maksimissaan 32 cm:stä jonteista. Kaikki viilut sorvattiin samalla kertaa ja osa viiluista säilytettiin muovissa viikon verran, näin koeviilujen kosteustasoihin ja –hajontoihin pyrittiin saamaan eroja. Liimaus suoritettiin neljälle koe-erälle normaalisti eli kaksipuoleisena telalevityksenä ja neljälle koe-erälle yksipuoleisena käyttäen liimanlevitykseen vain alatelaa.

Ladonnassa seurattiin viilun kosteutta, liimanlevityksen tasaisuutta ja liimaseoksen viskositeettia, lämpötilaa ja kuiva-ainepitoisuutta. Levyjen kosteudet mitattiin kahdesta levystä/koe-erä kuumapuristuksen ja yhden viikon varastoinnin jälkeen. Kieroudet ja käyryydet mitattiin heti puristuksen jälkeen ja viikon varastoinnin jälkeen.

Jatkokokeessa puolet levyistä liimattiin 50” ja puolet 60” päämitassa. Neljäsosa molemmista päämitoista (30 kappaletta sekä 50” että 60” mitassa) jätettiin



Kasper Sokka

koivupintaisiksi (DIE BB/BB). Yksi neljännes levyistä lähetettiin ensimmäisten mittausten jälkeen Lahteen lakattavaksi (DIE green). Loput levyistä pinnoitettiin melamiinikalvolla. Puolet näistä pinnoitettiin ennen ensimmäisiä mittauksia (DIE tarnsparent) ja puolet jätettiin tasaantumaan noin kahdeksi viikoksi ennen pinnoitusta (DIE transparent, 2 vkoa).

Liimauksessa seurattiin viilunkosteutta kuten faktorikokeessa. Liimanlevityksen tasaisuutta seurattiin myös kuten faktorikokeessa. Kosteuspalat otettiin viidestä levystä/koe-erä heti kuumapuristuksen jälkeen, 2 viikon ja edelleen 4 viikon kuluttua valmistuksesta.

Tämän lisäksi puristuksen jälkeisellä mittakerralla otettiin kosteuspalalevyistä koestuskappaleet taivutusjäykkyyksien ja liimasauman poikittaisvetolujuuksien tutkimiseksi. Nämä koestukset suoritettiin Kuopion tehtaalla.

Kieroudet ja käyryydet mitattiin heti puristuksen jälkeen, 2 viikon varastoinnin jälkeen ja 4 viikon varastoinnin jälkeen.

Käytössä olivat myös dataloggerit, joilla mitattiin ilman suhteellista kosteutta ja lämpötilaa eri kohdin tehdasta.

#### Tehdaskokeiden tulokset

Viilujen kosteudella on molempien kokeiden perusteella selvä vaikutus muotovääristymiin. Molemmissa kokeissa viilukerrosten kosteuseron kasvaessa muotovääristymätkin kasvoivat. Kosteuden erotuksen itseisarvo laskettiin pintaviilun syysuuntaisten viilujen (pintaviilut ja kuivat keskimmäiset) ja syiden vastaisten viilujen (liimaviilut) välillä.

Valssin suunnassa liimaviilun keskiosan liimanlevitys on keskimäärin huomattavasti suurempi kuin reunojen. Sekä ylä- että alatelalla on selvästi nähtävissä sama ilmiö. Liimanlevityksen tasaisuus riippuu siitä mitkä ovat ladonnassa olevan viilun mitat, ladontavauhti sekä liiman ja valssin ominaisuudet. Liimanlevitys yksittäisissä liimaviiluissa saattaa vaihdella miltei tasaisesta hyvinkin epätasaiseen, joko niin, että suuri osa liimasta on viilun keskellä tai jommassa kummassa reunassa.

Liiman syötöllä yhtäaikaaisesti molemmiin puoliin yhdistettynä kevennettyyn uritukseen on saatu aikaan parannuksia liimalevityksen tasaisuudessa ja ainakin 6,5 ja 9,0 mm:n parkettivanereiden muotopysyvyydessä.

Vanerin kosteuden muutoksista selvin vaikutus molemmissa kokeissa oli levyjen kulmien ja keskiosan kosteuden erotuksen muutoksella kierouteen varastoinnin aikana. Mitä suuremmaksi kosteusero kasvoi, sitä enemmän levyt kieroutuivat.

Laskennallinen tasapainokosteus varastossa ja tehtaassa sisällä seuraavat selvästi ulkoilmassa tapahtuvia muutoksia.

Kasper Sokka

Tarkasteltaessa ulkoilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mukaan laskettua puun tasapainokosteutta ja koelevyjen kosteuksia DIE tuoteperheen kokeissa kolmelta mittakerralta ryhmittäin koivupintaiset levyt seurasivat tasapainokosteuden muutosta esittävän polynomin käyrää tarkalleen.

Faktorikokeen käyryydet ja kierous jaettiin ennalta asetettujen muuttujien mukaan ryhmittäin ja näitä ryhmiä vertailtiin t-testein. Tilastollisesti merkittäviä eroja ryhmien välillä löytyi. Yksittäisvaikutuksista selkein oli muuttujan RAKENNE vaikutus kierouteen. Levyt, joiden sisäviiluja ei tehty jontikoista saumaamalla, olivat noin kolmanneksen kierompia.

Levyjen tiheyden keskiarvo oli suurin puristuksen jälkeen heti pinnoitetussa koeparissa. Tiheyden kasvaessa myös levyjen kierous kasvoi.

Kierous korreloi varastointijaksojen jälkeen keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuuden kanssa. Lujuuden kasvaessa myös levyjen kierous kasvoi. Liimanlevitysmäärän kasvaessa liimasauman poikittaisvetolujuus kasvoi. Liimanlevityksen hajonnan kasvaessa poikittaisvetolujuuden hajonta kasvoi.

Kimmomoduulin kasvaessa myös levyjen kierous kasvoi.

Tiheyden kasvaessa keskimmäisen liimasauman poikittaisvetolujuus kasvoi. Kosteuden kasvaessa levyn pintaviilun syysuuntainen taivutuskimmomoduuli pieneni ja tiheyden kasvaessa kimmomoduuli kasvoi. Kosteuden kasvaessa levyn pintaviilun syiden vastainen taivutuskimmomoduuli pieneni.

#### Johtopäätökset sekä suosituksia ja jatkotutkimusehdotuksia

Suosituksia ja jatkotutkimuksia esitettiin niin kosteuden hallintaan, liimanlevityksen kehittämiseen sekä levyjen kuljetukseen ja varastointiin kuin viilujen vinosyisyyden vaikutusten hallintaan vanerin rakenteen avulla.

Puu raaka-aineena on erittäin heterogeenistä ja käyristymiseen ja kieroutumisen vaikuttavat yleensä useat eri tekijät yhdessä. Tehdasmittakaavassa aina täydellisen suorien levyjen valmistaminen on jotakuinkin mahdotonta. Tavoitteena tuleekin olla muotovääritysmien jakauman hallinta.

Ensiarvoisen tärkeää on viilujen kosteuserojen minimointi ladonnassa sekä vanerin kosteuselämisen aiheuttamien muodonmuutosten minimointi logistiikkaketjussa.



Kasper Sokka

## LÄHDELUETTELO

- Absetz, Ilmari, Sihvonen, Janne, Koponen, Simo, Lehtinen, Teppo, Koskelo, Taina, Toratti Timo. 1996. Modeling fundamental properties of wood products. International Wood Engineering Conference '96.
- Absetz, Ilmari, Lehtinen, Maaria, Sihvonen, Janne. 1996/2. Equilibrium Moisture Content and Diffusion Coefficients of Plywood and Laminated Veneer Lumber. Building Physics '96 –4<sup>th</sup> nordic symposium.
- Absetz, Ilmari, Sihvonen, Janne. 1996/3. Modelling Moisture Transport of Wood, Plywood and LVL. Building Physics '96 –4<sup>th</sup> nordic symposium.
- Absetz, Ilmari. 1999. Moisture transport and sorption in wood and plywood – theoretical and experimental analysis originating from wood cellular structure. Teknillisen korkeakoulun talonrakennustekniikan julkaisu, TKK-TTR-102. Espoo. 90 s.
- Bhat, K. M. 1980. Variation in structure and selected properties of Finnish birch wood: I. Interrelations of some structural features, basic density and shrinkage. Silva Fennica, Vol. 14, N:o 4, s.384-396.
- Forest products laboratory. 1987. Wood Handbook: Wood as an engineering material, Agricultural Handbook 72. Washington D.C. 466 p.
- Fredrikson, Auli. 1997. Parkettivanerien kosteuden hallinta. Espoo. TKK/Puunjalostustekniikan osasto. Diplomityö. 58 s.
- Hannonen, Tero. 1995. Prosessiolosuhteiden vaikutus vanerin käyristymiseen. Espoo. TKK/Puunjalostustekniikan osasto. Diplomityö. 120 s.
- Heinonen, Tuija. 1992. Laserleikkaukseen soveltuvan vanerin markkinat Euroopassa. Helsinki. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen osasto, Metsäekonomian laitos. Pro-gradu –tutkielma. 79 s.
- Huovinen, Anu. 2001. TKK, tutkija. Puhelinhaastattelu 2.2.2001.
- Kemppainen, Hannu. 1990. Vanerin käyristyminen. Schauman Wood sisäinen tutkimus. 34 s.
- Kilpeläinen, Harri, Kontinen, Paavo. 1974. Vanerin dimensiomuutokset kosteuden vaihdellessa. Paperi ja puu, Vol. 56, N:o 9. s. 702-711.
- Koponen, Hannu, R. 1974. Puun teollinen liimaus. Kirjayhtymä. Helsinki. 201 s.
- Koponen, Hannu. 1990. Puutuotteiden liimaus. Espoo. Otatiето Oy (Otatiето 529). 142 s.

Koponen, Hannu. 1993. Puulevyjen valmistus. Espoo. TKK/Puutekniikka, Tiedonanto 62. 137 s.

Koponen, Hannu. 1995. Puulevytuotanto. Gummerus Oy Kirjapaino. Saarijärvi. 212 s.

Koponen, Simo, Huovinen, Anu. 2000. Vanerin käyristyminen –projekti, loppuraportti. Espoo. TKK/Talonrakennustekniikan laboratorio. 80 s.

Koponen, Simo. 2000. TKK, tutkija. Haastattelut, sähköpostivastaukset 21.9.2000, 22.9.2000 ja 20.12.2000.

Korpijaakko, Saija. 1999. Koivuviilun lujuuteen vaikuttavat tekijät erityisesti raskaan kuljetusvälineiteollisuuden lattiavanerin kannalta. Espoo TKK/Puunjalostustekniikan osasto. Diplomityö. 112 s.

Kärkkäinen, Matti. 1985. Puutiede. Hämeenlinna. Arvi A. Karisto Oy:n kirjapaino. 415 s.

Lehtinen, Maaria, Koponen, Simo. 1996. Puuviilulevyjen kosteusmuodonmuutokset ja käyristyminen. Kerroksellisten komposiittilevyjen mekaanisten ja kosteusteknisten ominaisuuksien mallittaminen –projekti. Espoo. TKK/Talonrakennustekniikan laboratorio. 33 s.

Lehtinen, Maaria, Koponen, Simo. 1997. Puuviilulevyjen tasapainokosteus. Espoo. TKK/Talonrakennustekniikan laboratorio, julkaisu 60. 38 s.

Lehtinen, Maaria, Syrjänen, Tuula, Koponen, Simo. 1997/2. Kuivauslämpötilan vaikutus viilun ominaisuuksiin. Espoo. TKK/Talonrakennustekniikan laboratorio, julkaisu 63. 50 s.

Lemettinen, Kari. Absetz, Ilmari. Kanerva, Pekka. 1987. Puun rakenne kosteuden sitoutumisen ja siirtymisen kannalta. Espoo. TKK/Talonrakennustekniikka. Julkaisu. 59 s.

Luukkainen, Juha-Pekka. 1995. Viilun kosteuden vaikutukset vanerin valmistusprosessissa. Espoo. TKK/Puunjalostustekniikan osasto. Diplomityö. 67 s.

Mikkola, Susanna. 1995. Asiakaslähtöinen tuotesuunnittelu vaneriteollisuudessa. Espoo. TKK/Puunjalostustekniikan osasto. Diplomityö. 101 s.

Oksanen, Olli. Hukka, Antti. 1998. Viilunkuivauksen laadun parantaminen – esitutkimuksen loppuraportti. Espoo. TKK/Puutekniikan laboratorio. 32 s.



Kasperri Sokka

Padatsu, Paul. 1998. Fenoliliiman viskositeetin ja levitysmäärän optimointi vanerin valmistuksessa. Espoo. TKK/Puutekniikan laboratorio. 94 s.

Pasanen, Ilpo. 2001. Schauman Wood, Jyväskylä. Puhelinhaastattelut 7.12.2000 ja 3.1.2001 ja haastattelu Jyväskylässä 4.1.2001.

Prestifilippo, M., Pizzi, A., Norback, H., Lavisci, P. 1996. Low addition of melamine salts for improved UF adhesives water resistance. Holz als Roh- und Werkstoff, Vol. 54, N:o 6, s. 393-398.

Pulkkinen, P. Hanhijärvi, A. Rohumaa, A. Sundman, S. Hyttinen, P. Sokka, K. Paajanen, T. 2000. Viilun kuivaus- Puumateriaalin ja kuivausprosessin vaikutukset tuoteominaisuuksiin. Espoo. TKK/Puutekniikka, Tiedonanto 84. 60 s.+liitteet 5 s.

Pussi, Jouko. 1997. Fenoliliiman viskositeetin hallinta vanerinvalmistuksessa. Espoo. TKK/Puutekniikan laboratorio. Diplomityö. 121 s.

Raute, viilunkuivauksen teoria. 1987. Kurssiosasto. Kotkan puutalousopisto. Viilunkuivaus –kurssin materiaali.

Rinne, Kimmo. 1995. Liiman käytön optimointi vanerin valmistuksessa. Espoo. TKK/Puutekniikan laboratorio. Diplomityö. 115 s.

Rinne, Susanna. 1999. Teolliset erikoiskäyttökohteet –kalvosarja. Schauman Wood.

Sellers, Terry, Jr. 1985. Plywood and Adhesive Technology. New York, USA. Marcel Dekker, inc. 653 s.

Skatter, S, Kucera, B. 1997. Spiral grain –An adaptation of trees to withstand stem breakage caused by wind-induced torsion. Holz als Roh- und Werkstoff, Vol. 55, N:o 4, s. 207-213

Sokka, Kasperri. 2000. Viilun saantoon ja laatuun vaikuttavat tekijät viilun kuivauksessa. Espoo. TKK/Puutekniikka. Erikoistyö. 54 s.

Sorsa, Bror. 1962. Puun liimauskäsikirja, Osa I Liimat. Helsinki. VTT tiedotus, sarja I –puu 20. 190 s.

Suchsland, Otto. 1994. The hygroscopic warping of laminated wood panels. Wood structure and properties '94, the 2<sup>nd</sup> international symposium, September 5-9, 1994, Zvolen –Slovakia. s.111-118.

Söyriälä, Pertti. 1989. Kostean viilun liimaus. Espoo. VTT tutkimuksia 574. 63 s.

Kasper Sokka

Söyriä, Pertti, Hanhijärvi, Antti, Toratti, Tomi. 2000. Vanerin käyristyminen. Espoo. VTT/Rakennustekniikka. 46 s.

Talaskivi, Pekka. 1995. Liimamäärän ja viilunpaksuuden vaikutus puuviilulevyjen mekaanisiin ominaisuuksiin. Espoo. TKK/Talonrakennustekniikan laboratorio. Diplomityö. 154 s.

Tarvainen, Ilkka. 1993. Vanerin käyristyminen. Espoo. TKK/Puunjalostustekniikan osasto. Diplomityö. 86 s.

Wang, S., Pizzi, A. 1997. Succinaldehyde induced water resistance improvements on UF wood adhesives. Holz als Roh- und Werkstoff, Vol. 55, N:o 1, s. 9-12.

Wang, S., Pizzi, A. 1997. Waste nylon fibre hardeners for improved UF wood adhesives water resistance. Holz als Roh- und Werkstoff, Vol. 55, N:o 2, s. 91-95.

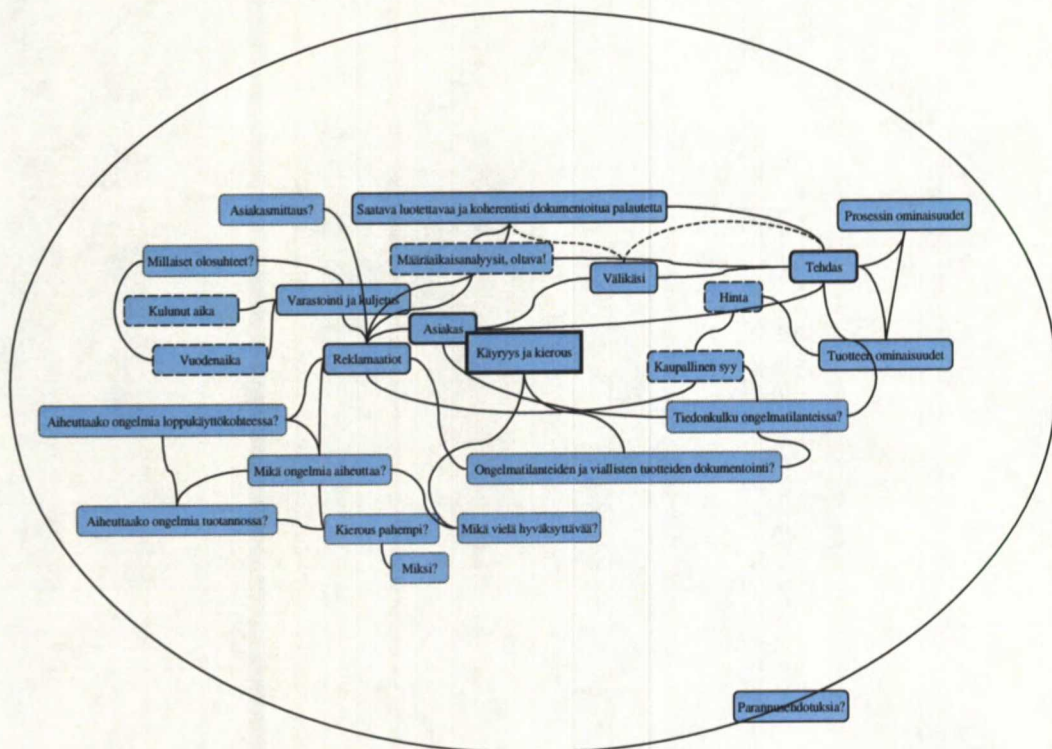
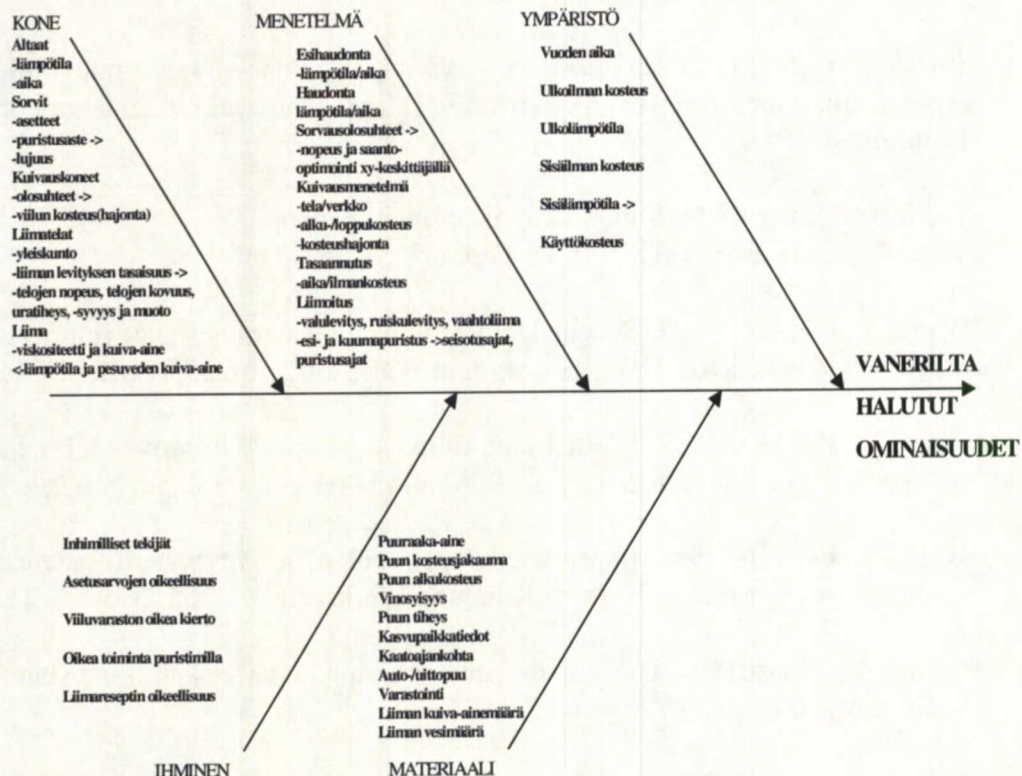
Wang, S., Pizzi, A. 1997. Improving UF plywood adhesives water resistance by coreaction with proteins. Holz als Roh- und Werkstoff, Vol. 55, N:o 3, s. 158.

Verkasalo, Erkki. 1997. Hieskoivun laatu vaneripuuna. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 632. 483 s.

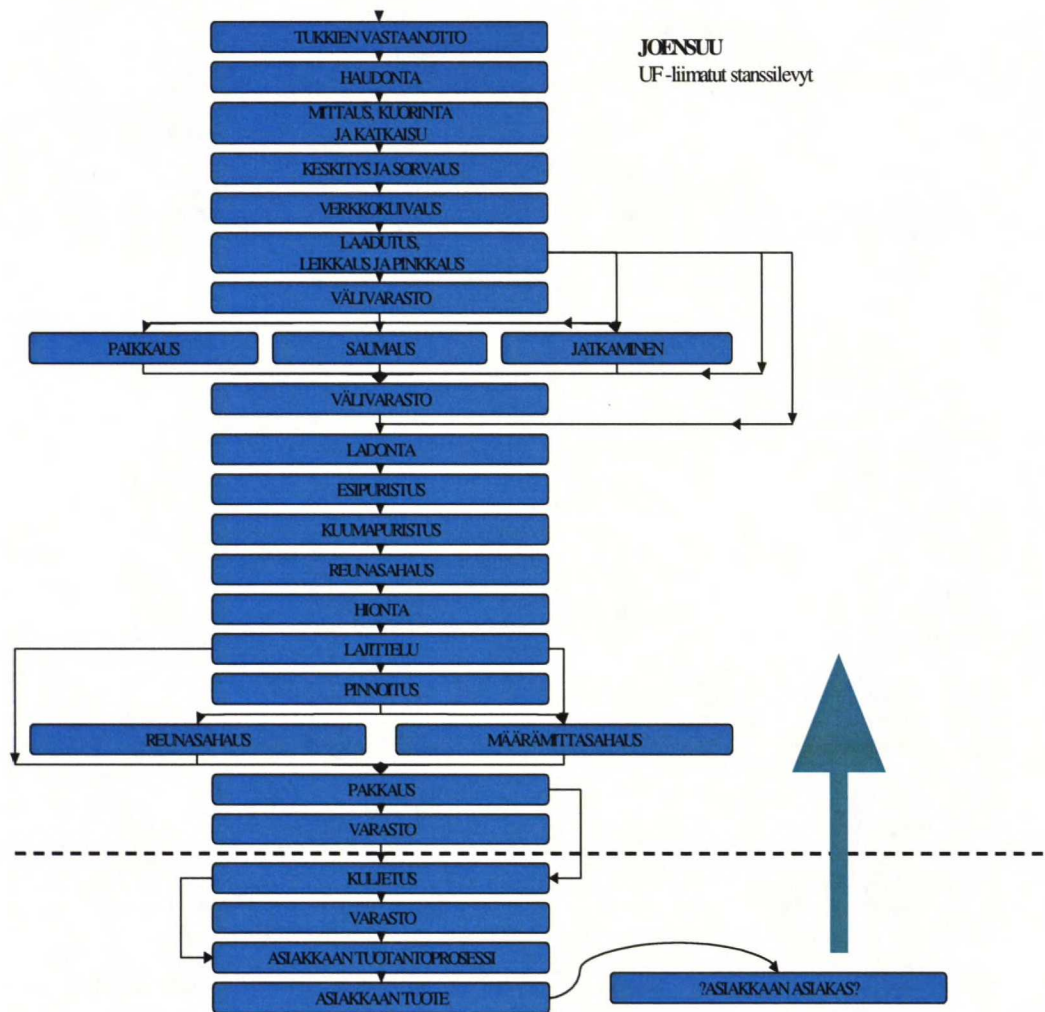
Viitaniemi, Pertti. 1988. Puun kierteisyys ja sen mittaaminen. Espoo. VTT tutkimuksia 522. 28 s.



## LITTEET



Kasper Sokka

RAAKA-AINE

Vinosisyys, reaktiopuu ja nuorpuu sekä muut viat aiheuttavat muutoksia kimmokertoimiin ja kosteusmuodonmuutokertoimiin. Nämä puolestaan vaikuttavat käyristymien suuruuteen.

- tyvi / latva
- pinta / sydän
- oksaisuus...

TUKKILAIITTELU?HALDONTA

Haudonta-ajan ja -lämpötilan vaikutus (vaaliteravenerin valmistuksessa painehaudonta 160°F, eli noin 70°C) viulun sisäisiin jännitystiloihin ja poikittaisvetolujuuteen.

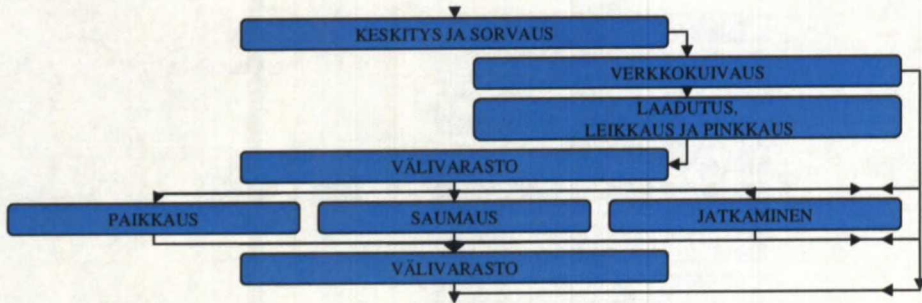
MITTAUS ja KATKAISU

Saanto-optimoinnin vaikutus.

- kartikkaisuus
- lenkaus...



Kasper Sokka

**KESKITYS JA SORVAUS**

Pölliin lämpötila ja kosteus sorvauksessa. Saanto-optimoinnin vaikutus vinosyisyyteen. Sorvausasetteen ja -nopeuden vaikutus poikittaisvetolujuuteen ja sisäisiin jännitystiloihin.

- 1,2mm / 1,5mm

**VERKKOKUIVAUS**

Viilun kosteushajonta ennen kuivausta. Kuivausajan, -lämpötilan ja kuivausilman kosteuden ja nopeuden vaikutus loppukosteuteen ja sen hajontaan. Keskikosteuden määrää haluttu kosteus kuumapuristuksen jälkeen? Tällä hetkellä liimaus määrää.

- keskiarvo noin 3,5% / 6%

**LAADUTUS, LEIKKAUS JA PINKKAUS**

Vinosyisyyden mittaaminen?

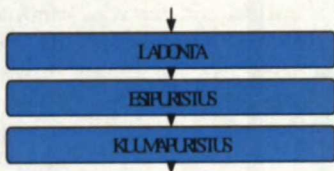
- tutkimusprojekti

**VÄLIVARASTOINTI**

Tasaannutusajan vaikutus ladelman viilujen keskikosteuteen ja kosteushajontaan.-olosuhteet

**PAIKKAUS, SAUMAUS JA JATKAMINEN**

Patchman -paikkauksessa vinosyisyyden mittaaminen (vaahteravanerin valmistuksessa ei paikattuja pintoja)? Composer -saumattujen kuivien keskimmäisten jontin leveyden vaikutus sisäisiin jännitystiloihin (vaahteravanerin valmistuksessa 12", eli noin 30 cm jontikat, joista joka toinen käännetty). Vinosyisyyden poisto jontin leikkauksessa? Liimaviilun jatkaminen saumatuista arkeista? Jatkossauman vaikutus sisäisiin jännityksiin? Composer -saumattujen keskimmäisten vaikutus käyristymiseen -leveät langat vain toisella puolella?

**LADONTA**

Ladelman viilujen välisten ja sisäisten kosteuserojen vaikutus sisäisiin jännitystiloihin.

- ladonta-aika ja avoin aika
- liiman levitysmäärä, viskositeetti ja kuiva-ainepitoisuus
- liimsauman paksuus ja levityksen tasoisuus

**ESIPURISTUS**

Esipuristustarpeen olotavainnittävä, jotta levyjen syöttökuumapuristukseen onnistuu.

**Levyliion syntyy sisäisiä jännitystiloja.** Kosteudentasautuminen?

- Seisonta-aika ennen kuumapuristusta

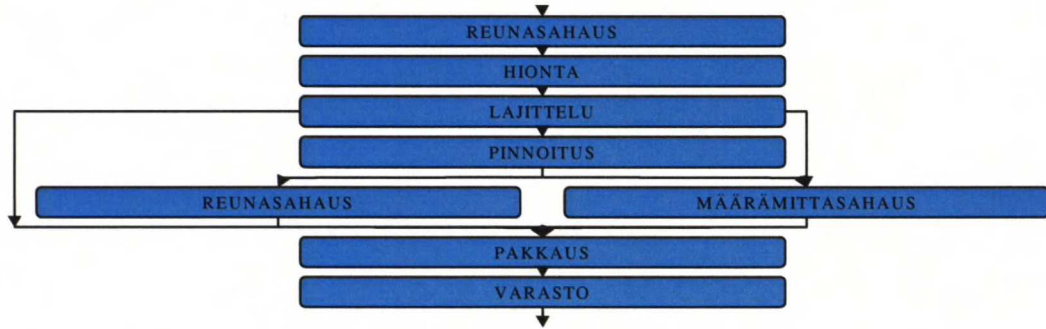
**KLUMAPURISTUS**

Kuumapuristuksen jälkeen levyliion kosteuden on otava => **tasapainokosteus**

**käyttöolosuhteissa** (vaahteravaneri puristuksen jälkeen vielä 24h lämmössä paineen alla). Kosteushajonta levyjen sisällä pinta-sydän/reuna-keskusta.

- puristus-aika, -paine, -lämpötila ja -kaava

Kasper Sokka

HIONTA

Molempien pintojen yhtä tasaisen hionnan vaikutus käyristymiseen

LAJITTELU

on-line kierous- / käyryysmittaus?

PINNOITUS

Pinnoitteen vaikutus käyristymiseen / kieroutumiseen. Pinnoitusmateriaalin kosteus oltava sama kuin pinnoitettavan levyn.§

MÄÄRÄMITTASAHAUS

Palastelun vaikutus käyristymiseen / kieroutumiseen.

REUNAMAALAUS

Reunasuojauksen vaikutus kosteuselämiseen ja kosteuden liikkeisiin.

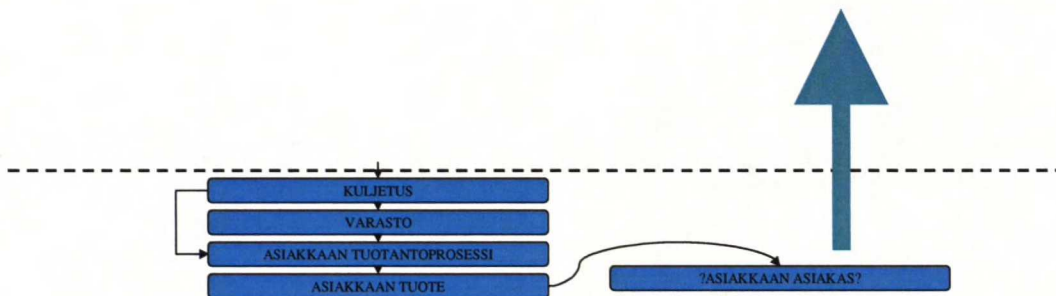
PAKKAUS

Paketoinnin vaikutus käyristymiseen / kieroutumiseen. <-vuodenaika?

VARASTOINTI

Varastointiajan ja -olosuhteiden vaikutus käyristymiseen / kieroutumiseen.

•Ilman lämpötila ja kosteus <- vuodenaika

KULJETUS

Kuljetustavan ja -ajan vaikutus käyristymiseen / kieroutumiseen. <- vuodenaika

VARASTOINTI

Varastointiajan ja -olosuhteiden vaikutus käyristymiseen / kieroutumiseen.

•Ilman lämpötila ja kosteus <- vuodenaika

ASIAKKAAN TUOTANTOPROSESSIN JA TUOTTEEN ASETTAMAT VAATIMUKSET

**-> TUOTEVAATIMUKSET**



Kasper Sokka

Correlations		pölin pintalämpö C° avg	pölin sisälämpö C° avg	määrän viulun poikittaisvetolujuus voima N avg	9,0 mm taivutuslujuus poikkisuunta voima N avg	9,0 mm taivutuslujuus poikkisuunta N/mm² avg
haudontalämpötila	Pearson Correlation (β) Sig. (2-tailed) N R²	,993(**) 0 8 99%	,998(**) 0 8 99%	,927(**) 0.001 8 86%	,827(*) 0.011 8 68%	,732(*) 0.039 8 54%
Correlations		viulun kopperaisuus matka mm avg	6,5 mm leikkauslujuus 1-pinta voima N avg	6,5 mm taivutuslujuus poikkisuunta voima N avg		
tukin laatu	Pearson Correlation (β) Sig. (2-tailed) N R²	-,716(*) 0.046 8 51%	-,642(**) 0.009 8 71%	-,749(*) 0.032 8 56%		
Correlations		6,5 mm kosteus % puristuksen jälkeen syysuunta std	6,5 mm kosteus % varastoinnin jälkeen syysuunta std	9,0 mm kosteus % puristuksen jälkeen yhteensä std	9,0 mm käyryys varastoinnin jälkeen poikkisuunta mm/m avg	
viulun kosteus	Pearson Correlation (β) Sig. (2-tailed) N R²	-,771(*) 0.025 8 59%	-,743(*) 0.035 8 55%	-,748(*) 0.033 8 56%	-,722(*) 0.043 8 52%	
Correlations		6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm avg	9,0 mm leikkauslujuus K-sauma voima N avg			
seisotusaika	Pearson Correlation (β) Sig. (2-tailed) N R²	-,739(*) 0.036 8 55%	-,636(**) 0.01 8 70%			
6,5 mm käyryys puristuksen jälkeen poikkisuunta mm/m		viulun paksuus märkinä avg ,790(*) 0.02 8 62%	viulun kosteus ennen liimausta std ,748(*) 0.033 8 56%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm avg ,892(**) 0.003 8 80%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm std ,834(*) 0.01 8 70%	6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen paino kg avg ,852(**) 0.007 8 73%
6,5 mm käyryys puristuksen jälkeen syysuunta mm/m		6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm avg ,852(**) 0.007 8 73%	6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen etäisyys mm avg ,918(**) 0.001 8 84%			6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen etäisyys mm avg ,932(**) 0.001 8 87%
6,5 mm kierous puristuksen jälkeen mm/m		viulun paksuus märkinä avg ,716(*) 0.046 8 51%	viulun kosteus ennen liimausta std ,707(*) 0.05 8 50%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm avg ,930(**) 0.001 8 86%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm std ,776(*) 0.024 8 60%	6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen paino kg avg ,774(*) 0.024 8 60%
6,5 mm käyryys varastoinnin jälkeen poikkisuunta mm/m		viulun paksuus märkinä avg ,808(*) 0.015 8 65%	viulun kosteus ennen liimausta avg ,709(*) 0.049 8 50%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm avg ,861(**) 0.006 8 74%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm std ,892(**) 0.003 8 80%	6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen paino kg avg ,776(*) 0.024 8 60%
6,5 mm käyryys varastoinnin jälkeen syysuunta mm/m		6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen etäisyys mm avg ,808(*) 0.015 8 65%				6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen etäisyys mm avg ,843(**) 0.009 8 71%
6,5 mm kierous varastoinnin jälkeen mm/m		viulun paksuus märkinä avg ,823(*) 0.012 8 68%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm avg ,920(**) 0.001 8 85%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm std ,779(*) 0.023 8 61%	6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen paino kg avg ,791(*) 0.019 8 63%	6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen etäisyys mm avg ,988(**) 0 8 98%
6,5 mm kierous asiakasmittaus mm		viulun paksuus märkinä avg ,755(*) 0.03 8 57%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm avg ,989(**) 0 8 98%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm std ,895(**) 0.003 8 80%	6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen paino kg avg ,763(*) 0.028 8 58%	6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen etäisyys mm avg ,919(**) 0.001 8 84%
6,5 mm kierous asiakasmittaus mm		viulun paksuus märkinä avg ,833(*) 0.01 8 69%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm avg ,891(**) 0.003 8 79%	6,5 mm kopperaisuus puristuksen jälkeen etäisyys mm std ,758(*) 0.029 8 57%	6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen paino kg avg ,806(*) 0.016 8 65%	6,5 mm kopperaisuus varastoinnin jälkeen etäisyys mm avg ,998(**) 0 8 100%
määrän viulun poikittaisvetolujuus voima N avg	Pearson Correlation (β) Sig. (2-tailed) N R²	pölin pintalämpötila avg ,934(**) 0.001 8 87%	pölin sisälämpötila avg ,967(**) 0 8 94%			
määrän viulun poikittaisvetolujuus voima N std	Pearson Correlation (β) Sig. (2-tailed) N R²	pölin pintalämpötila std ,729(*) 0.04 8 53%	pölin sisälämpötila std ,878(**) 0.004 8 77%			pölin pintalämpötila avg ,746(*) 0.034 8 56%

Kasper Sokka

		tiheys		
		pintapuu std		
6,5 mm leikkauslujuus	Pearson Correlation (β)	,898(**)		
1-pinta	Sig. (2-tailed)	0.002		
voima N	N	8		
std	R²	81%		
6,5 mm leikkauslujuus	Pearson Correlation (β)			
1-pinta	Sig. (2-tailed)			
%	N			
	R²			
6,5 mm leikkauslujuus	Pearson Correlation (β)			
2-pinta	Sig. (2-tailed)			
voima N	N			
avg	R²			
6,5 mm leikkauslujuus	Pearson Correlation (β)			
2-pinta	Sig. (2-tailed)			
voima N	N			
std	R²			
6,5 mm leikkauslujuus	Pearson Correlation (β)	6,5 mm kosteus	6,5 mm kosteus	6,5 mm kosteus
2-pinta	Sig. (2-tailed)	puristuksen jälkeen	puristuksen jälkeen	varastoinnin jälkeen
	N	syitä vastaan std	yhteensä std	yhteensä std
%	R²	-,955(**)	-,922(**)	-,893(**)
		0	0.001	0.003
		8	8	8
		91%	85%	80%
6,5 mm taivutuslujuus	Pearson Correlation (β)	6,5 mm kosteus		
poikkisuunta	Sig. (2-tailed)	puristuksen jälkeen		
voima N	N	syitä vastaan std		
avg	R²	-,794(*)		
		0.019		
		8		
		63%		
6,5 mm taivutuslujuus	Pearson Correlation (β)	viilun		
poikkisuunta	Sig. (2-tailed)	poikittaisvetolujuus		
voima N	N	märkänä N std		
std	R²	-,722(*)		
		0.043		
		8		
		52%		
6,5 mm taivutuslujuus	Pearson Correlation (β)	6,5 mm kosteus	6,5 mm kosteus	6,5 mm kosteus
syysuunta	Sig. (2-tailed)	puristuksen jälkeen	varastoinnin jälkeen	varastoinnin jälkeen
voima N	N	yhteensä std	syysuunta std	yhteensä std
avg	R²	-,736(*)	-,750(*)	-,873(**)
		0.037	0.032	0.005
		8	8	8
		54%	56%	76%
6,5 mm taivutuslujuus	Pearson Correlation (β)	tiheys		
syysuunta	Sig. (2-tailed)	sydänpuu std		
voima N	N	,948(**)		
std	R²	0		
		8		
		90%		

viilun kopperaisuus	
paino avg	
	-,838(**)
	0.009
	8
	70%
viilun	
poikittaisvetolujuus	
märkänä N std	
	,741(*)
	0.036
	8
	55%
liiman	
visko avg	
	-,730(*)
	0.04
	8
	53%
viilun kosteus	
kuivauksen jälkeen avg	
	-,728(*)
	0.04
	8
	53%
viilun kopperaisuus	
paino avg	
	-,772(*)
	0.025
	8
	60%
viilun kosteus	
kuivauksen jälkeen std	
	-,741(*)
	0.035
	8
	55%
viilun kosteus	
kuivauksen jälkeen avg	
	-,767(*)
	0.026
	8
	59%



## Kasper Sokka

9,0 mm leikkauslujuus K-sauma voima N	Pearson Correlation ( $\beta$ ) Sig. (2-tailed) N R <sup>2</sup>
avg	

9,0 mm leikkauslujuus	Pearson Correlation ( $\beta$ )
K-sauma	Sig. (2-tailed)
voima N	N
std	R <sup>2</sup>

9,0 mm leikkauslujuus	Pearson Correlation ( $\beta$ )
K-sauma	Sig. (2-tailed)
	N
%	R <sup>2</sup>

9,0 mm leikkauslujuus 1-pinta voima N	Pearson Correlation ( $\beta$ ) Sig. (2-tailed) N R <sup>2</sup>
avg	

9,0 mm leikkauslujuus 1-pinta voima N	std	Pearson Correlation ( $\beta$ )	Sig. (2-tailed)	N	R <sup>2</sup>
---	-----	---------------------------------	-----------------	---	----------------

9,0 mm leikkauslujuus 1-pinta	Pearson Correlation ( $\beta$ )
%	Sig. (2-tailed)
	N
	R <sup>2</sup>

9,0 mm leikkauslujuus 2-pinta voima N		Pearson Correlation ( $\beta$ )
avg		Sig. (2-tailed)
		N
		R <sup>2</sup>

9,0 mm leikkauslujuus	Pearson Correlation ( $\beta$ )
2-pinta	Sig. (2-tailed)
voima N	N
std	R <sup>2</sup>

9,0 mm leikkauslujuus 2-pinta	Pearson Correlation ( $\beta$ )
%	Sig. (2-tailed)
	N
	R <sup>2</sup>

9,0 mm taivutuslujuus poikkisuunta voima N	Pearson Correlation ( $\beta$ ) Sig. (2-tailed) N R <sup>2</sup>
avg	

9,0 mm taivutuslujuus poikkisuunta voima N	Pearson Correlation ( $\beta$ )
std	Sig. (2-tailed)
	N
	R <sup>2</sup>

9,0 mm taivutuslujuus syysuunta voima N	Pearson Correlation ( $\beta$ ) Sig. (2-tailed) N R <sup>2</sup>
avg	

9,0 mm taiputuslujuus syysuurta voima N	Pearson Correlation ( $\beta$ )
std	Sig. (2-tailed)
	N
	R <sup>2</sup>

9,0 mm kosteus puristuksen jälkeen syitä vastaan std	9,0 mm kosteus puristuksen jälkeen yhteensä std
-.874(**)	-.763(*)
0.005	0.028
8	8
76%	58%

tiheys	
sydänpuu avg	
	.783(*)
	0.021
	8
	61%

9,0 mm kosteus puristuksen jälkeen syitä vastaan std	-0,826(*) 0.012 8 68%
--	--------------------------------

9,0 mm kosteus puristuksen jälkeen syitä vastaan std	9,0 mm kosteus puristuksen jälkeen yhteensä std
-,793(*)	-,868(**)
0.019	0.005
8	8
63%	75%

9,0 mm kosteus puristuksen jälkeen syltä vastaan std	9,0 mm kosteus puristuksen jälkeen yhteensä std	tiheys sydänpuu avg
-0,836(**)	-,707(*)	,791(*)
0.009	0.05	0.019
8	8	8
70%	50%	63%

pölin pintalämpötila avg	pölin sisälämpötila avg	voimakas poikkeavsuus märkänä N avg
,813(**)	,853(**)	,888(**)
0.014	0.007	0.003
8	8	8
66%	73%	79%

9,0 mm kosteus puristuksen jälkeen syitä vastaan std	
	,714(*)
	0.047
	8
	51%

tiheys	
sydänpuu avg	
	.713(*)
	0.047
	8
	51%

viulun kusteus ennen liimausta avg	-0,753(*) 0.031 8 57%
---------------------------------------	--------------------------------

liman	
visko avg	
	-0,828(*)
	0.011
	8
	69%

viilun kusteus	
kuivauksen jälkeen avg	
-0.817(*)	
0.013	
8	
67%	

viulun koppelaisuus
paino avg
-0,871(**)
0.005
8
76%

liman	
visko avg	
	-0,736(*)
	0.037
	8
	54%

tiheys	
sydänpuu std	
	,753(*)
	0.031
	8
	57%

liiman	
kuiva-aine avg	
	,709(*)
	0.049
	8
	50%

viulun kusteus	
kuivauksen jälkeen avg	
	-0.821(*)
	0.013
	8
	67%

pölin	
sisälämpötila std	
	,721(*)
	0.044
	8
	52%

liiman	
lämpötila avg	
	,896(**)
	0.003
	8
	80%

viulun koppelaisuus	
paino avg	
	-.904(**)
	0.002
	8
	82%

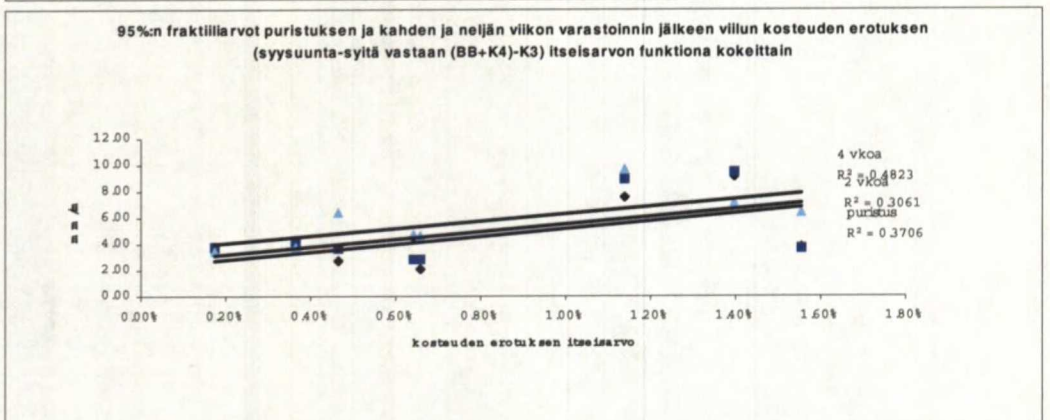
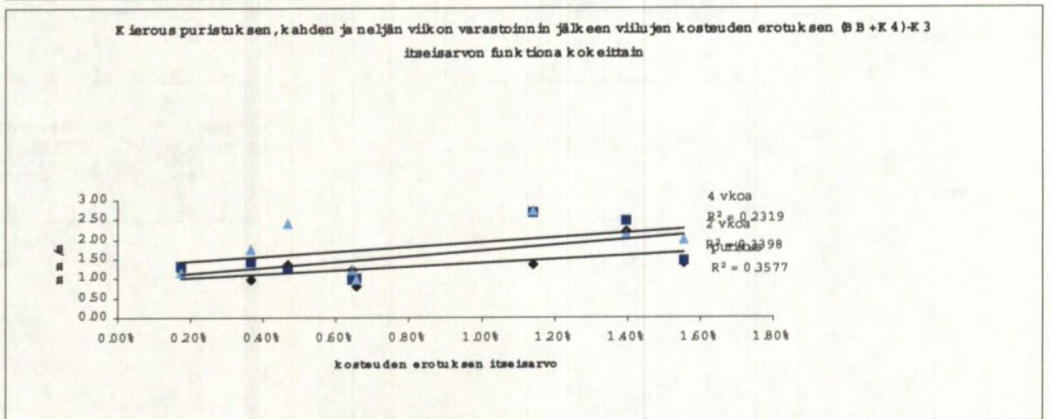
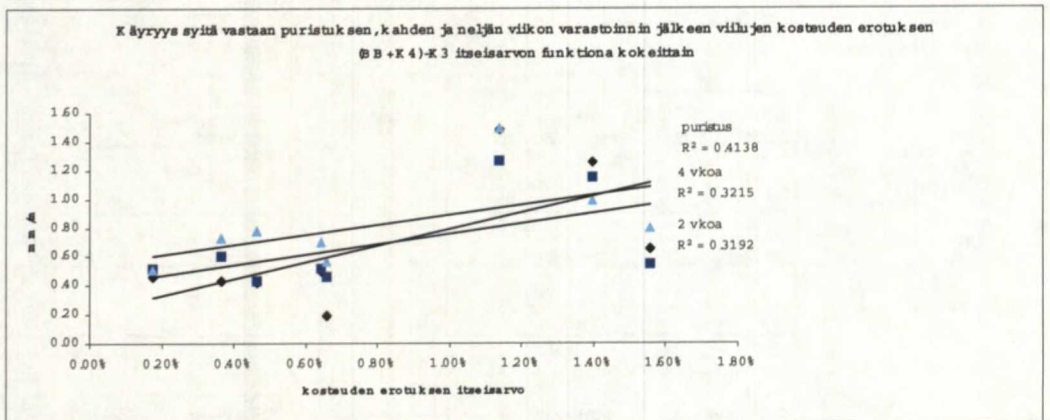
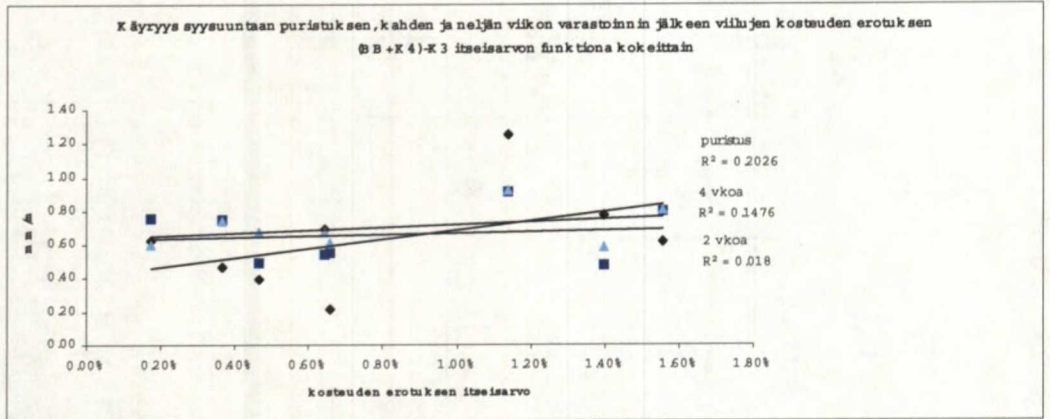
viulun koppelaisuus	
paino avg	
	,791(*)
	0.019
	8
	63%

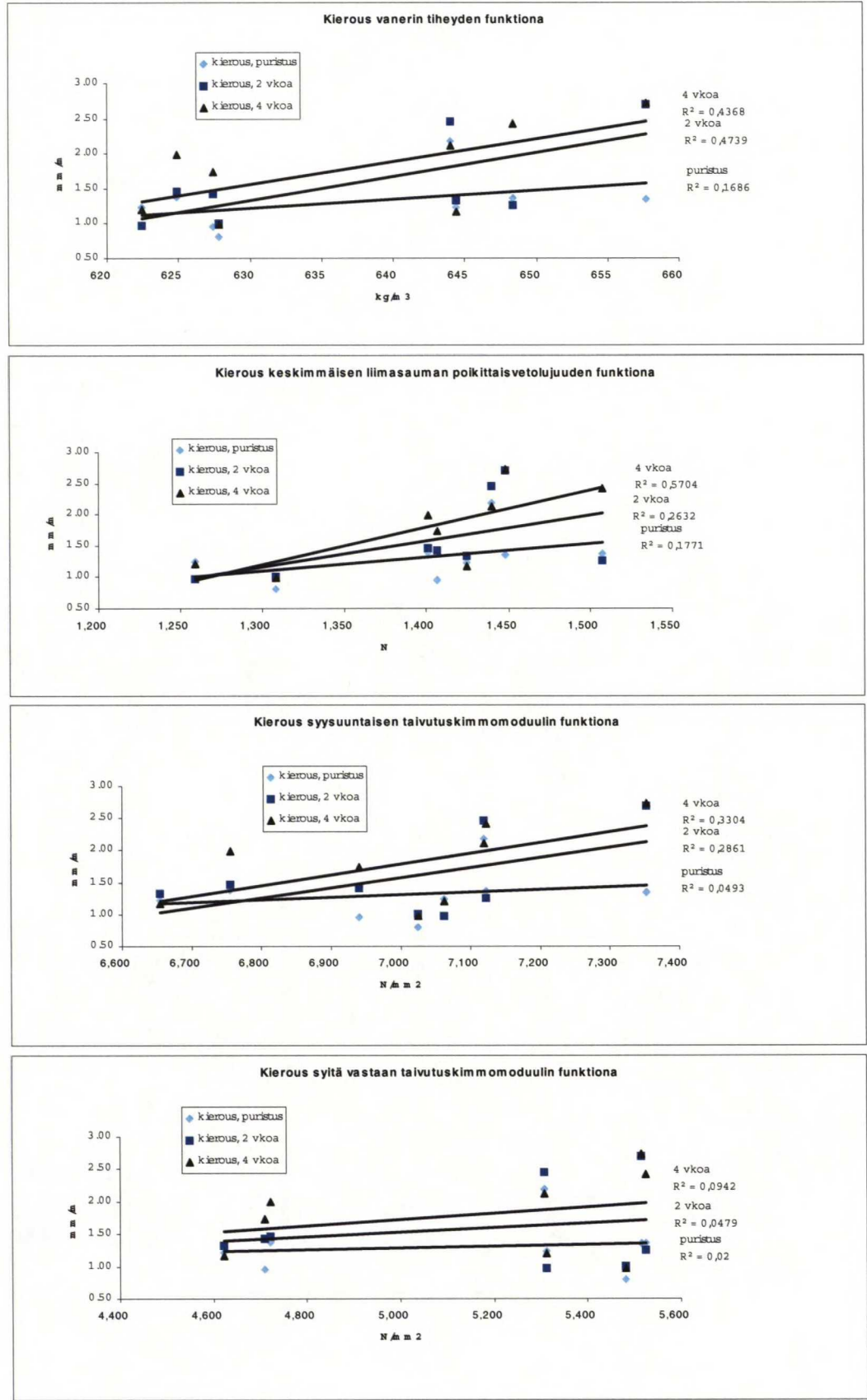
Kasper Sokka

viulun kappuraisuus paino kg	std	pöllin pintalämpötila avg	viulun poikittaisvetolujuus märkanä N std	viulun poikittaisvetolujuus märkanä N/mm2 std
		tiheys pintapuu avg		
viulun kosteus % ennen liimausta avg				
6.5 mm kosteus % puristuksen jälkeen yhteensä avg		viulun kosteus kuivauksen jälkeen avg	viulun kosteus ennen liimausta avg	
6.5 mm kosteus % puristuksen jälkeen yhteensä std		tiheys sydänpuu std		
6.5 mm kosteus % varastoinnin jälkeen yhteensä avg		viulun kosteus kuivauksen jälkeen avg	viulun kosteus ennen liimausta avg	viulun kappuraisuus kg/mm avg
6.5 mm kosteus % varastoinnin jälkeen yhteensä std		viulun kosteus kuivauksen jälkeen avg	viulun kosteus ennen liimausta avg	viulun kappuraisuus kg/mm avg
9.0 mm kosteus % puristuksen jälkeen yhteensä avg		viulun kosteus kuivauksen jälkeen avg	viulun kosteus ennen liimausta avg	viulun kosteus kuivauksen jälkeen std
9.0 mm kosteus % puristuksen jälkeen yhteensä std		viulun kosteus kuivauksen jälkeen avg	viulun kosteus ennen liimausta avg	viulun kappuraisuus kuivauksen jälkeen std
				viulun kappuraisuus matka std












Kasper Sokka







DO'S	DONT'S
 <p>RH 40% Temp 20°C 68°F</p> <p><b>Always</b> keep die boards in their packaging during storage. This will protect the boards and help maintain the moisture content</p>	 <p>Never remove die boards from their packaging and lean them against a wall.</p>
 <p>RH 40% Temp 20°C 68°F</p> <p><b>Always</b> maintain a FIFO (first-in first-out) policy. This will allow die boards time to adjust with the environment.</p>	 <p>Never store die boards near heat vents, open windows or doors.</p>
 <p>RH 40% Temp 20°C 68°F</p> <p><b>Always</b> store die boards with the same sizes on each pallet.</p>	 <p>Never stack different sizes of die boards on the same pallet, and never stack die boards unevenly.</p>
 <p>RH 40% Temp 20°C 68°F</p> <p><b>Always</b> store packaged die boards in a stable environment. (indoors)</p>	 <p>Never store/ship die boards so they are exposed to the elements. (outdoors)</p>
 <p>RH 40% Temp 20°C 68°F</p> <p><b>Always</b> store packaged die boards in a pallet.</p>	 <p>Never store die boards directly on a concrete surface. They will absorb moisture.</p>
 <p>RH 40% Temp 20°C 68°F</p> <p><b>Always</b> store packaged die boards where they can be on a clean, flat and dry surface.</p>	 <p>Never store die boards on an uneven surface.</p>